

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Měnič napětí pro fotovoltaický panel

Power Inverter for a Photovoltaic Panel

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Petr Holan

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612T015 Elektronika

Téma:

Měnič napětí pro fotovoltaický panel
Power Inverter for a Photovoltaic Panel

Zásady pro vypracování:

1. Uveďte možnosti konfigurace systému fotovoltaický panel - měnič kmitočtu.
2. Specifikujte, jakým způsobem je možné stabilizovat stejnosměrné napětí na vstupní straně měniče kmitočtu.
3. Na základě pokynů vedoucího diplomové práce realizujte laboratorní funkční vzorek měniče pro fotovoltaický panel.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího diplomové práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

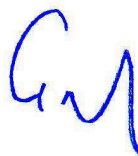
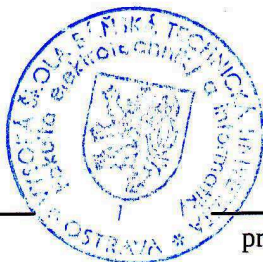
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Sládeček, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě, dne 5.5.2013



.....
Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Václavu Sládečkovi, Ph.D. za odborné konzultace.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá popisem frekvenčních měničů pro Fotovoltaické systémy. V úvodu jsou popsány možnosti konfigurace fotovoltaického panelu, měniče kmitočtu a rozbor střídačů firmy SMA Solar Technology AG. Následně jsou uvedeny možnosti stabilizace stejnosměrného napětí na vstupní straně DC/DC měniče.

V poslední kapitole této práce je popsána konstrukce laboratorního vzorku frekvenčního měniče.

Klíčová slova

fotovoltaika, frekvenční měnič, DC/DC měnič, zvyšující měnič, stabilizace ss napětí, střídač

Abstract

This thesis describes the frequency converters for photovoltaic systems. The introduction describes the options of configuration photovoltaic panels, converters of frequency and analysis inverters of SMA Solar Technology AG. The following are the options for stabilizing the DC voltage on the input side of the DC / DC converter.

In the last chapter of this thesis describes design of the laboratory sample frequency converters.

Key words

photovoltaic, frequency converter, DC/DC converter, boost converter, stabilizing DC voltage, power inverter

Seznam použitých zkratk

AC	střídavý elektrický proud
DC	stejnoseměrný elektrický proud
DC/DC	stejnoseměrný měnič napětí
DC/AC	střídavý měnič napětí
FV	fotovoltaický
GND	označení pro zemní svorku (zem)
H	logická úroveň vyšší
L	logická úroveň nižší
MOSFET	unipolární tranzistor řízený polem
MPPT	sledování bodu maximálního výkonu fotovoltaického panelu
String	jeden obvod sériově řazených fotovoltaických panelů
UPS	funkce měniče napětí pro zálohování napájení
VRLA	ventilem řízený olověný akumulátor

Seznam použitých symbolů

Symbol		Jednotka
C	kapacita kondenzátoru	[F]
f	frekvence	[Hz]
I	elektrický proud	[A]
I_{pk}	zkratový proud	[A]
L	indukčnost cívky	[H]
L_{min}	minimální hodnota indukčnosti cívky	[H]
P	výkon	[W]
P_{TOT}	celkový ztrátový výkon	[W]
R	elektrický odpor	[Ω]
$R_{th(c-h)}$	tepelný odpor přechodu pouzdro-chladič	[K/W]
$R_{th(h-a)}$	tepelný odpor přechodu chladič-okolí	[K/W]
$R_{th(j-c)}$	tepelný odpor přechodu čip-pouzdro	[K/W]
T	teplota	[°C]
T_a	teplota okolí	[°C]
T_c	teplota pouzdra tranzistoru	[°C]
T_h	teplota chladiče	[°C]
T_j	teplota čipu tranzistoru	[°C]
t	čas	[s]
U	elektrické napětí	[V]
U_1	vstupní napětí	[V]
U_{1min}	minimální vstupní napětí měniče	[V]
U_2	výstupní napětí	[V]
U_{CES}	napětí kolektor-emitor při sepnutém stavu	[V]
U_{CMAX}	maximální napětí na kondenzátoru	[V]
U_F	propustné napětí diody	[V]
U_{REF}	referenční napětí	[V]
U_{RIPPLE}	zvlnění výstupního napětí	[V]
U_{SAT}	saturační napětí tranzistoru	[V]

Obsah

1. ÚVOD	1
2. MOŽNOSTI KONFIGURACE FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ	1
3. KONKRÉTNÍ MĚNIČE OD SPOLEČNOSTI SMA SOLAR TECHNOLOGY AG	3
3.1.DOMOVNÍ SYSTÉMY	3
3.2.SYSTÉMY PRO ZAPOJENÍ DO ROZVODNÉ SÍTĚ	4
3.2.1.KOMERČNÍ SYSTÉMY OD 10KW AŽ DO MW	4
3.2.2.KOMERČNÍ SYSTÉMY OD 100KW AŽ DO MW	5
3.3.OSTROVNÍ SYSTÉMY	6
4. MĚNIČE NAPĚTÍ PRO DOMÁCNOST	8
4.1.ÚVOD	8
4.2.JEDNOTLIVÉ OCHRANY MĚNIČŮ	11
4.3.DOPLŇKOVÉ FUNKCE MĚNIČŮ	13
4.4.DRUHY AKUMULÁTORŮ	13
4.5.MOŽNOSTI PŘIPOJENÍ MĚNIČŮ K AKUMULÁTORU	14
4.6.ZÁSADY BEZPEČNOSTI	14
4.7.PŘIPOJENÍ MĚNIČŮ S MOTORY (ČERPADLA, RUČNÍ EL. NÁŘADÍ, SPOTŘEBIČE S EL. MOTORY)	15
5. STABILIZACE VSTUPNÍHO NAPĚTÍ MĚNIČE KMITOČTU	16
5.1.STABILIZACE POMOCÍ ZVYŠUJÍCÍHO MĚNIČE S CÍVKOU	16
5.2.STABILIZACE POMOCÍ MĚNIČE V ZAPOJENÍ PUSH-PULL	19
5.3.STABILIZACE POMOCÍ MĚNIČE S NÁBOJOVOU PUMPOU	21
6. PRAKTICKÁ ČÁST - LABORATORNÍ FUNKČNÍ VZOREK FREKVENČNÍHO MĚNIČE	23
6.1.ZVYŠUJÍCÍ MĚNIČ	24
6.2.STŘÍDAČ NAPĚTÍ	31
7. ZÁVĚR	36
8. SEZNAM PŘÍLOH	37
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	38

1. Úvod

Tato diplomová práce se zabývá obecným rozbořem měničů kmitočtu pro fotovoltaické systémy a způsoby stabilizace stejnosměrného napětí na vstupní straně měniče kmitočtu.

Druhá část diplomové práce popisuje realizaci laboratorního vzorku měniče napětí pro fotovoltaický panel.

2. Možnosti konfigurace fotovoltaických systémů

Všechny fotovoltaické (dále jen FV) panely generují stejnosměrný proud. Výstupní napětí panelů navíc kolísá podle intenzity slunečního záření, proto je potřeba výstupní napětí FV panelů nejprve stabilizovat, poté ve stejnosměrném meziobvodu akumulovat případnou přebytkovou energii a na závěr přeměnit stejnosměrný proud na střídavý. Toto vše zajišťuje měnič kmitočtu, který je konstruován jako jeden celek. Střídavý proud je nutný jednak z hlediska použitelnosti připojených spotřebičů, tak i z hlediska přenosu energie. Ve střední a západní Evropě bývají obvyklé efektivní hodnoty nízkého napětí $U_{ef} = 230 \text{ V AC}$ a frekvence $f = 50 \text{ Hz}$. Rozvody vysokého napětí bývají nejčastěji $U_{ef} = 22 \text{ kV AC}$, $U_{ef} = 220 \text{ kV AC}$, $U_{ef} = 400 \text{ kV AC}$.

Rozdělení měničů podle účelu použití:

- Síťové
- Ostrovní

Síťové měniče jsou primárně určeny k dodávání elektrické energie do veřejné rozvodné sítě. Napětí síťových měničů odpovídá napětí v rozvodné síti, a kmitočet se rovněž synchronizuje s kmitočtem v rozvodné síti. V případě odstávky veřejné rozvodné sítě musí měnič přestat dodávat energii. Tyto měniče během posledních let zaznamenaly v ČR velký nárůst v souvislosti s výstavbou mnoha fotovoltaických elektráren.

Ostrovní měniče pracují nezávisle na veřejné rozvodné síti a vytváří tak vlastní lokální síť. V této síti se musí hodnota výstupního napětí a frekvence měniče pohybovat v hodnotách daných normou. Výjimku může tvořit případ, kdy by byly spotřebiče napájeny stejnosměrným proudem. Tato varianta však není zpravidla ekonomicky výhodná.

Rozdělení měničů podle konstrukce:

- Transformátorové
- Beztransformátorové

Transformátorové měniče používají ke změně napětí transformátor, který zároveň zajišťuje galvanické oddělení FV panelů od veřejné rozvodné sítě. Jsou spolehlivé, ale v dnešní době jsou ekonomicky a hmotnostně výhodnější beztransformátorové měniče.

S rozvojem výkonové polovodičové techniky a zvyšováním jejich spolehlivosti se vyrábí čím dál více beztransformátorových měničů. Tyto měniče již nepoužívají transformátor a FV panely, tedy nejsou galvanicky odděleny od rozvodné sítě. Jsou kladeny vysoké nároky na bezpečný provoz. Měníče mají velkou perspektivu do budoucna, zejména s dalším vývojem polovodičové techniky.

Rozdělení měničů podle výkonu:

- Jednopanelové - výkon obvykle do 250 W, jsou často umístěny přímo v kontaktní krabici FV panelu. Měníče jsou obvykle vybaveny obvodem pro elektrické přizpůsobení parametrů měniče a parametru FV panelu.
- Systémové - o obvyklém max. výkonu cca. 5-6 kW obsluhují zpravidla jeden sériový obvod tzv. „string“ FV panelů s maximálním napětím do 1 kV. Rovněž tyto měniče jsou obvykle vybaveny obvodem, který zajišťuje elektrické přizpůsobení měniče parametrům FV panelu (Maximum Power Point Tracker - MPPT). Další možností jsou měniče obsluhující 2-3 sériové obvody tzv. „multistring“ FV panelů, přičemž každý „string“ je vybaven obvodem MPPT.
- Centrální měniče - mají obvyklé výkony cca. 5 kW až 1 MW a obsluhují až stovky obvodů fotovoltaických panelů „stringů“. [1]

3. Konkrétní měniče od společnosti SMA Solar Technology AG

3.1. Domovní systémy

SUNNY BOY 3300/3800 - Pro malé a střední FV systémy do 20 kW.

- Účinnost až 95,6 %
- Využití tzv. „MPP“ (Maximum Power Point)
- Aktivní řízení teploty OptiCool
- Galvanické oddělení
- Integrovaný DC odpínač zátěže ESS
- Vhodný pro venkovní i vnitřní instalaci
- DC konektorový systém SUNCLIX



Obr. 1 Střídač SUNNY BOY 3300

MPP (Maximum Power Point) - Provozní bod (proud/napětí) FV panelu, ve kterém se dosahuje nejvyššího možného výkonu. Poloha bodu se neustále mění, podle intenzity slunečního záření a teploty, které působí na FV panel. Z toho důvodu je střídač vybaven sledovačem MPP, který nastavuje proud a napětí FV panelu tak, aby byl neustále provozován ve svém bodě maximálního výkonu (MPP).

OptiCool - Patentovaná koncepce krytu střídačů společnosti SMA, ve které je vnitřní prostor střídače rozdělen do dvou částí. Část s citlivou elektronikou je prachotěsně a vodotěsně uzavřená; druhá část obsahuje transformátory, tlumivky a jiné méně citlivé součástky a lze ji aktivně chladit.

ESS (Electronic Solar Switch) - DC odpínač zátěže integrovaný do střídače pro bezpečné přerušení toku el. proudu z FV panelu do střídače.

SUNCLIX - Jednotný systém DC konektorů pro všechny střídače.

Číslice „**3300**“ za názvem označuje maximální jmenovitý AC výkon 3300 W, v případě „**3800**“ potom 3800 W.

3.2. Systémy pro zapojení do rozvodné sítě

3.2.1. Komerční systémy od 10 kW až do MW

SUNNY MINI CENTRAL 9000TL/10000TL/11000TL s funkcí Reactive Power Control - Pro střední FV systémy od 15 kW.

- Účinnost až 97,7 %
- Bez transformátoru, technologie H5
- Dodávka jalového výkonu
- Aktivní řízení teploty OptiCool
- Jednotka SMA Power Balancer pro třífázové připojení k distribuční síti
- Integrovaný DC odpínač zátěže ESS
- Sledování stavu stringových pojistek
- DC konektorový systém SUNCLIX
- Vhodný pro venkovní instalaci



Obr. 2 Střídač SUNNY MINI CENTRAL 9000TL

Technologie H5 - Můstek střídačů s topologií H5 je vybaven pátým polovodičovým spínačem. Tento spínač zajišťuje vysokou efektivitu při konverzi napětí a danou vysokou účinnost.

Jednotka **Power Balancer** - Zabraňuje u třífázového napájení vzniku nežádoucího nesouměrného zatížení. Z tohoto důvodu se spojují vždy tři střídače do jedné třífázové napájecí jednotky.

Střídač je schopen dodávat do distribuční sítě jalový výkon.

SUNNY TRIPOWER 10000TL/12000TL/15000TL/17000TL - Třífázový střídač

- Účinnost až 98,1 %
- Přizpůsobivá účinnost díky funkci OptiTrac Global Peak
- Elektronická stringová pojistka a identifikace výpadku stringu
- Integrovatelný svodič přepětí DC, typ II
- Sledování proudu stringů
- Vstupní DC napětí až 1000 V
- Integrované funkce pro řízení bezpečnosti a stability distribuční sítě
- Koncepce Optiflex
- Komunikace prostřednictvím technologie Bluetooth
- DC konektorový systém SUNCLIX



Obr. 3 Střídač SUNNY TRIPOWER 1000TL

OptiTrac Global Peak - Vyšší verze sledovače MPP OptiTrac pro provoz s částečně zastíněnými FV panely.

Optiflex - Koncepce pro návrh FV systému se střídačem SUNNY TRIPOWER. Asymetrický multistringový vstup se dvěma sledovači MPP umožňuje přesné dimenzování s téměř libovolným počtem FV panelů.

Bluetooth - Střídač dokáže komunikovat se speciálními komunikačními produkty SMA a ostatními střídači.

3.2.2. Komerční systémy od 100 kW až do MW

SUNNY CENTRAL 800CP XT/850CP XT/900CP XT - Centrální střídače pro fotovoltaické elektrárny

- Účinnost až 98,6 % *
- Systémový výkon až 1 MW
- Aktivní řízení teploty OptiCool
- Široký rozsah vstupního DC napětí pro použití různých konfigurací FV panelů
- Zahrnuje všechny funkce pro grid management
- Monitorování a řízení střídačů pomocí virtuálního prostředí



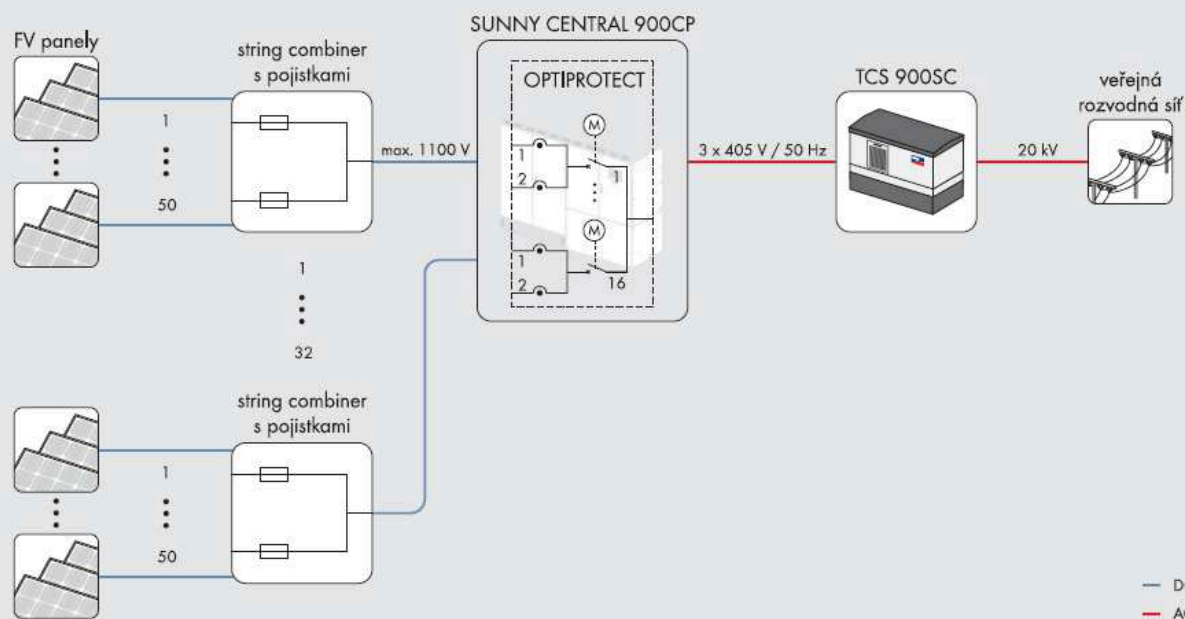
Obr. 4 Střídač SUNNY CENTRAL 800CP XT

* účinnost měřená bez vlastního napájení

Grid Guard - Systém kontroly stavu sítě, který sleduje napětí a frekvenci připojené rozvodné sítě podle zadaných parametrů.

Číslice „**800CP XT**“ za názvem označuje maximální jmenovitý AC výkon (při okolní teplotě 50 °C) 800 kVA, v případě „**850CP XT**“ potom 850 kVA. Výrobce zaručuje, že při teplotě okolí 25 °C střídač dosahuje většího jmenovitého výkonu. Například u varianty „800CP XT“ je to 880 kVA.

SCHÉMA FV SYSTÉMU



Obr. 5 Schéma FV systému se střídačem SUNNY CENTRAL

3.3. Ostrovní systémy

Tento způsob nachází využití v místech, kde není dostupná veřejná rozvodná síť, jako záložní systém v místech s nestabilní rozvodnou sítí, popřípadě jako samostatná síť nezávislá na veřejné rozvodné síti. Střídač vytváří vlastní síť, tvoří hlavní jednotku celého systému, neustále udržuje výstupní napětí a frekvenci v přípustných hodnotách. Součástí systému jsou baterie, které jsou při přebytku el. energie nabíjeny a při nedostatku dodávají proud do sítě. Jedná se o trakční olověné, nebo nikl-kadmiové akumulátory. Běžné startovací Pb akumulátory nejsou vhodné. Stav akumulátorů se neustále monitoruje a řídí se jejich optimální nabíjení pro dosažení dlouhé životnosti.

Pokud střídač vyhodnotí vysokou spotřebu el. energie, může spustit dieselgenerátor, nebo odpojit některé spotřebiče. Naopak pokud je nízká spotřeba el. energie a akumulátory jsou plně nabitě, tak střídač výrobu el. energie omezuje. Na ostrovní systém může být rovněž připojena větrná elektrárna, jako další zdroj el. energie. Díky možnosti modulárního propojení více střídačů lze systém rozšířit až na výkon 300 kW. Střídače se zapojují paralelně - jednofázově i třífázově. U systémů s instalovaným výkonem vyšším než 15 kW se sjednotí vždy tři střídače Sunny Island 5048 a jedna baterie do jednoho clusteru (bloku). Tyto clustery se potom zapojují paralelně. Výhodou tohoto řešení je, že při výpadku jednoho clusteru zajišťují chod systému ostatní clustery.



Obr. 6 Princip Ostrovního systému; 1 - FV panely, 2 - Střídač SUNNY BOY, 3 - Střídač SUNNY ISLAND, 4 - Akumulátory, 5 - Dieselgenerátor, 6 - Větrná elektrárna

SUNNY ISLAND 5048 - Střídač pro ostrovní systém.

- Účinnost až 95 %
- Pro systémy od 3 do 300 kW
- Kompletní řízení ostrovního systému
- Inteligentní systém řízení baterií pro maximální životnost
- Výpočet stavu nabití baterií
- Možnost jednofázového i třífázového paralelního zapojení a modulárního rozšiřování
- Aktivní řízení teploty OptiCool



Obr. 7 Střídač SUNNY ISLAND 5048

4. Měníče napětí pro domácnost

4.1. Úvod

Tyto měniče napětí zajišťují napájení běžných spotřebičů, které ke svému provozu potřebují napětí 230 V a frekvenci 50 Hz. Jsou to například: PC, notebooky, el. nářadí, svítidla, DVD přehrávače, malá čerpadla a jiné.

Využití měničů je velice velmi široké. Téměř každý spotřebič, který je napájen z rozvodné sítě, lze napájet také z měniče napětí. Nacházejí využití v místech, kde není k dispozici rozvodná síť, jako jsou kempy, chaty, odlehlá místa, v domovních solárních systémech pro již zmiňovanou konverzi stejnosměrného napětí na střídavé, atd. Dále pak nacházejí velké uplatnění v osobních a nákladních automobilech, ve stavební a zemědělské technice, na lodích atd., kde umožňují provoz spotřebičů na střídavou energii v prostorech těchto prostředků. Samostatnou kapitolou jsou měniče s funkcí UPS, které lze využít všude tam, kde potřebujeme mít zajištěn stálý provoz spotřebiče i při výpadku rozvodné sítě. Fungují jako záložní zdroj pro PC, počítačové servery, čerpadla, apod.

Pro správný výběr vhodného měniče musíme nejprve spočítat celkový příkon všech plánovaných spotřebičů napájených z měniče. Dojdeme tak k hodnotě trvalého výkonu měniče, který může být použit. Ovšem je potřeba brát v potaz určitá omezení.

Jak již bylo zmíněno, musíme dodržet dostatečnou rezervu mezi maximálním příkonem připojených spotřebičů a maximálním výkonem samotného měniče. V opačném případě, tedy při provozování měniče na hranici jeho maximálního výkonu, zkracuje jeho životnost a pravděpodobnost závady je mnohonásobně vyšší, než když je měnič provozován s dostatečnou rezervou výstupního výkonu. Doporučená rezerva je minimálně 20 %. Je-li tedy celkový příkon spotřebičů 400 W, musí být použit měnič s maximálním trvalým výkonem 480 W. Toto doporučení je platné pro použití měniče se spotřebiči, které mají převážně odporový charakter (svítidla, vytápěcí tělesa, atd.) a jsou tedy z hlediska zátěže ideálním spotřebičem. U spotřebičů, které používají spínané napájecí zdroje, tedy PC, nabíječky, notebooky atd., je doporučeno vybrat měnič napětí s minimálně dvojnásobným výkonem.

Existují měniče s modifikovanou sinusoidou, které bezproblémově napájí v dnešní době tak oblíbené LED žárovky a úsporné žárovky, ovšem problém může nastat u napájení výbojek. Napájení spínaných zdrojů a počítačů obecně zvládají měniče opět bez problému. Je však nutné s dostatečnou rezervou dimenzovat výstupní výkon měniče oproti maximálnímu příkonu spotřebičů (kromě el. motorů, kde je problematika poněkud složitější, viz. dále).

Základní rozdělení měničů je podle připojení k 12 V, nebo 24 V akumulátoru. Dalšími zásadními vlastnostmi pro rozdělení měničů do různých kategorií je výstupní výkon a tvar výstupního napětí. Dále můžeme měniče ještě rozdělit na typy, které pracují pouze jako měnič napětí nebo tzv. UPS (nepřerušitelný zdroj energie).

- **Rozdělení podle použitého vstupního napětí:**

Měniče se z hlediska použitého vstupního napětí dělí na měniče, které můžeme použít s akumulátory o nominálním napětí 12 V, nebo měniče určené pro připojení k akumulátorům s nominálním napětím 24 V. Protože napětí na akumulátoru kolísá v poměrně širokém rozsahu, jsou měniče zhotoveny tak, aby byly schopné pracovat v určitém napěťovém rozsahu. U 12 V typů je to zpravidla 10 V až 16 V, u 24 V typů měničů je to pak 20 V až 32 V. Tyto hodnoty se mohou u různých typů měničů lišit.

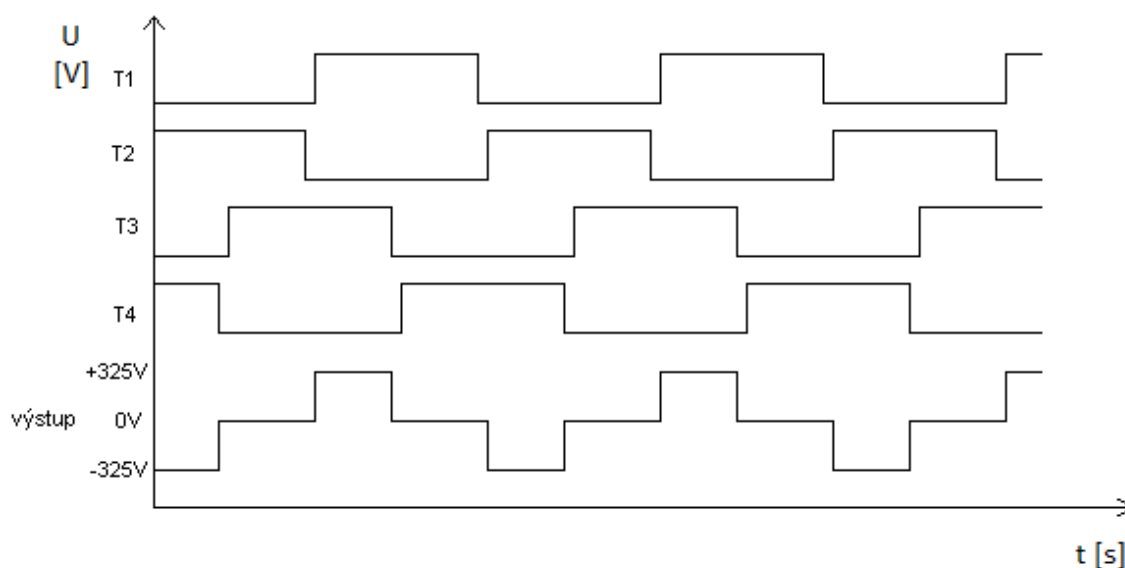
- **Rozdělení podle tvaru výstupního napětí:**

1. *Měniče s modifikovanou sinusoidou:*

Měnič vyrábí výstupní napětí, které nemá tvar "hladké" sinusoidy. Tento typ měniče je možné bez problémů použít s naprostou většinou elektrických spotřebičů a elektronických zařízení.

2. *Měniče s čistou sinusoidou:*

Měnič vyrábí výstupní napětí, které má tvar téměř dokonalé sinusoidy. Tento typ měniče lze využít, pokud potřebujeme napájet citlivá, nebo přesná elektronická zařízení, jako radiostanice, lékařské přístroje, měřicí přístroje apod., nebo pokud požadujeme zcela tichý chod připojeného elektromotoru. Měniče jsou výrazně dražší než měniče s modifikovanou sinusoidou. V praxi ale máme jistotu, že se nesetkáme s žádným problémem, který může v některých případech nastat u měničů s modifikovanou sinusoidou.



Obr. 8 Modifikovaná sinusoida

- **Rozdělení měničů podle výstupního výkonu:**

U měničů napětí jsou uváděny zpravidla 2 typy výkonu a to špičkový výkon a trvalý výkon. Trvalý výkon uvedený u měniče je maximální výkon, který můžeme z měniče odebírat stále. Špičkový výkon je výkon, který je měnič schopný dodávat po dobu několika stovek milisekund. Špičkový výkon tedy můžeme využít pouze po velmi krátký okamžik, především v době spuštění spotřebiče, kdy připojený spotřebič pro svůj rozběh potřebuje i několikanásobek provozního příkonu. Špičkový výkon měniče tedy využijeme zejména pro spuštění elektronických zařízení, kde je napěťová špička velmi krátká. Tento výkon nelze zpravidla využít pro rozběh čerpadel, motorů apod., kde je doba rozběhu dlouhá. Pokud chceme použít měnič pro asynchronní motor (čerpadlo apod.), je nutné počítat s tím, že příkon takového motoru je v okamžiku spuštění na úrovni pěti až osminásobku jeho štítkového údaje. Běžné výkony měničů jsou: 100 W, 150 W, 300 W, 600 W, 1000 W, 1500 W, 2000 W, 2500 W, dále jsou to měniče s výstupním výkonem 5000 W a 10 000 W. Nad hranicí 10 000 W se využívají měniče s výkonem 10 000 W, které jsou zařazeny v řetězci, nebo se využívá třífázových měničů.

- **Měniče s funkcí UPS a bez funkce UPS**

1. Měniče bez funkce UPS

Slouží pouze ke změně napětí ze stejnosměrného na střídavé o požadované výstupní frekvenci. Kromě ochrany nemají žádné další funkce.

2. Měniče napětí s funkcí UPS

Tento typ měniče je opět připojen na akumulátor, ale ještě má navíc přívod síťového napětí 230 V. Spotřebič, který chceme udržovat v provozu i při výpadku rozvodné sítě, připojíme do měniče jako v předchozích případech, avšak zapneme funkci tzv. ByPass. Měnič pracuje pouze jako prodloužení rozvodné zásuvky.

Po výpadku elektrické energie měnič automaticky ihned přepne své napájení na akumulátor a zajistí tak nepřerušovaný provoz spotřebiče. Měnič funguje tedy jako záložní zdroj s akumulátorem. Samozřejmě doba provozu spotřebiče je dána kapacitou použitého akumulátoru. Po zprovoznění rozvodné sítě měnič opět přepne své napájení ze sítě a navíc začne dobíjet akumulátor tak, aby byl zase v provozu při dalším výpadku sítě. Měniče nachází uplatnění jako záložní zdroje pro PC, servery, čerpadla, a další spotřebiče, u kterých je nutný nepřetržitý provoz, popřípadě jejich výpadek by znamenal ztrátu důležitých dat. Lze ho využít rovněž jako obyčejný měnič v místech, kde není dostupná elektrická energie z rozvodné sítě. V tomto případě však nelze použít funkci UPS. Měnič je dražší oproti měniči bez funkce UPS a je konstruován v kompaktní formě jako celek.

- **Klidový proud měničů**

Je to proud, který měnič spotřebuje v klidovém stavu, kdy k němu není připojen žádný spotřebič. Měnič je tedy nezatížený a pracuje naprázdno, ovšem ke svému provozu potřebuje malý klidový proud odebíraný z akumulátoru, popřípadě ze sítě (měnič s funkcí UPS). Zjednodušeně se dá říci, že hodnota odebíraného klidového proudu je úměrná hodnotě maximálního výstupního výkonu měniče. Měniče s menším maximálním výkonem mají menší spotřebu klidového proudu, kdežto měniče s velkým max. výkonem mají tuto spotřebu větší.

- **Výstupní napětí a kmitočet měničů**

Jak již bylo zmíněno, výstupní střídavé napětí měničů má nominální hodnotu 230 V a frekvenci 50 Hz. Ovšem s vyšším zatížením měniče dochází k určitému poklesu výstupního napětí. Pokles však nemá ani při snížení výstupního napětí o cca 10 % žádný výrazný vliv na činnost spotřebičů. Nominální výstupní kmitočet měničů je 50 Hz. Prodávané kvalitní měniče od renomovaných výrobců mají velmi přesný výstupní kmitočet a to i při různém zatížení. To platí především pro měniče s vyšším výkonem, kde řízení a kontrolu celého měniče zajišťuje mikrokontrolér, jehož pracovní kmitočet je dán přesným krystalem.

4.2. Jednotlivé ochrany měničů

Kvalitní měniče napětí od renomovaných výrobců mají integrovány hned několik typů ochran pro zajištění vlastního zabezpečení a pro zabezpečení připojeného akumulátoru.

- **Ochrana akumulátoru proti hlubokému vybití**

Při provozu měniče nesmí odběrem proudu z akumulátoru docházet k hlubokému vybití a poklesu nominálního napětí tohoto akumulátoru. Jedná se o stav, kdy je akumulátor zcela vybitý. Pokud je akumulátor takto nevhodným způsobem vybíjen, výrazně se zkracuje jeho životnost a stačí krátký interval a akumulátor je nenávratně zničen.

Ochrana pracuje na principu nepřetržitého monitorování poklesu nominálního napětí akumulátoru. V případě akumulátoru s nominálním napětím 12 V, je tato hranice okolo 10,5 V. U akumulátoru s nominálním napětím 24 V, je hranice okolo 21,5 V. Při poklesu pod tuto hranici měnič automaticky přestane odebírat proud z akumulátoru a vybíjet ho tak. Měniče jsou navíc vybaveny akustickou signalizací nízkého stavu akumulátoru tak, aby měl uživatel dostatek času spotřebič včas odpojit. Tato signalizace tedy reaguje na ještě o něco málo větší hodnotu nominálního napětí akumulátoru před samotným odpojením.

- **Ochrana proti přepólování vstupních svorek**

Ochrana proti zničení měniče v případě nechtěného přepólování vstupních svorek (svorku + baterie na svorku – měniče napětí).

- **Ochrana proti vysokému ss napětí na vstupu měniče**

Ochrana, která odpojí měnič napětí od napájecího zdroje v případě, že napětí zdroje (akumulátoru) je vyšší, než přípustné. U měničů s nominálním vstupním napětím 12 V je to hodnota zpravidla kolem 16 V. U měničů s nominálním vstupním napětím 24 V je to pak hodnota zpravidla okolo 32 V.

- **Ochrana proti přetížení měniče**

V případě, že dojde k přetížení celého měniče z důvodu vysokého odběru proudu připojeného spotřebiče, je měnič od spotřebiče automaticky odpojen.

- **Tepelná ochrana**

Tato ochrana vypne celý měnič, pokud jeho vnitřní teplota přesáhne povolenou hodnotu a mohlo by tak dojít k přehřátí měniče.

- **Chlazení měniče**

Dostatečně kvalitní měniče mají zajištěno pasivní chlazení výkonových součástek a ostatní elektroniky vlastní krabicí, která je vyrobena z profilového hliníku o dostatečné tloušťce. Rovněž tvar a žebrování odpovídá co nejlepšímu odvodu tepla. Jedná se o měniče o výkonu od 300 W. Pasivní chlazení je navíc doplněno o aktivní a to v podobě ventilátoru odvádějícího teplo z krabice směrem ven po překročení nastavené hranice teploty. Tato hranice je u měničů individuální a záleží na jeho konstrukci a výchozí odolnosti vůči vyšším teplotám. Nicméně běžná hraniční teplota uvnitř měniče napětí pro zapnutí ventilátoru je 35 – 40 °C. Některé typy měničů nespínají ventilátor, jen pokud je překročena povolená vnitřní teplota v měniči napětí, ale také pokud je odběr proudu z měniče vysoký. Nečekají tedy, až se teplota v měniči zvýší nad povolenou mez, ale při vysokém odběru již s předstihem sepnou aktivní chlazení pomocí ventilátoru.

- **Ochrana proti přepětí na výstupu měniče**

Tato ochrana má zvláště význam při napájení el. motorů. Indukční zátěž (el. motor) se po vypnutí napájení chová na velmi krátký čas jako zdroj napětí, který působí na výstup již vypnutého napájecího zdroje. V tomto okamžiku, který trvá pouze několik milisekund, si napájecí zdroj a spotřebič vymění své role. Toto může mít pro nezabezpečený napájecí zdroj (tedy měnič napětí)

destruktivní následky a mohlo by dojít ke zničení měniče. Tomuto zabraňuje ochrana proti přepětí na výstupu měniče.

- **Ochrana proti zkratu na výstupu měniče**

Ochrana je určená k tomu, aby nedošlo ke zničení měniče v případě nežádoucího spojení (svorku + a -) na výstupu měniče.

4.3. Doplnkové funkce měničů

Kromě funkce UPS, mohou mít některé typy měničů napětí další funkce potřebné pro konkrétní připojené spotřebiče.

Některé měniče napětí, hlavně typy s vysokým maximálním výkonem, mají vestavěnu funkci tzv. Softstart. Jde o vlastnost měniče, která zajišťuje měkké spuštění spotřebiče bez velkého proudového nárazu. Proudový náraz při zapnutí spotřebiče je rozložen do delšího časového úseku, což umožňuje měniči spustit i spotřebiče, které by se mu z důvodu velkého odběru proudu v době spuštění bez funkce Softstart nepodařilo rozběhnout. SoftStart je v podstatě pozvolný nárůst napětí na výstupu měniče po jeho zapnutí vypínačem. S rostoucím napětím na výstupu pak pozvolna roste i proud tekoucí do spotřebiče. Funkci SoftStart je možné využít pouze tehdy, když připojený spotřebič k měniči napětí spouštíme vypínačem na měniči napětí. Pokud měnič nejprve zapneme, a teprve poté zapneme spotřebič vypínačem na spotřebiči, není možné funkci SoftStart využít.

4.4. Druhy akumulátorů

Jako zdroj napětí pro měniče napětí určené pro domácnost je možné použít různé typy olovených akumulátorů. Nejčastěji používané akumulátory jsou trakční akumulátory nebo startovací akumulátory.

Startovací akumulátory sice nejsou ideální pro použití jako zálohovací baterie, protože jejich konstrukce je optimalizovaná pro použití jako proudový zdroj, který je schopný dodat opravdu velký proud v krátkém čase (ideální např. pro startování automobilu), nicméně jejich zásadní výhodou je jejich velmi nízká cena, takže se běžně ve spojení s měniči napětí používají.

Trakční akumulátory jsou pro použití s měniči napětí vhodnější. Jedná se o speciální baterie navržené i pro hluboké vybití, které mnohem méně podléhají opotřebení elektrod při vybíjení a nabíjení a používají se tam, kde se baterie pravidelně vybíjejí a nabíjejí – fotovoltaické systémy,

zálohovací systémy, elektrické automobily atd. Tyto baterie mají tlusté elektrody, které nejsou schopny dodat tak velký proud, jako startovací baterie, ale vydrží časté a hluboké vybíjení. U běžného oloveného akumulátoru se stává, že se v akumulátoru při nabíjení vytvoří plyny, které vytlačí v průběhu nabíjení elektrolyt ven z akumulátoru a navíc se tyto plyny uvolňují do prostoru, kde je akumulátor umístěn.

Pokud používáme akumulátor v obytných prostorách, je rozhodně vhodnější použít akumulátor typu **VRLA** (z anglického Valve Regulated Lead Acid batteries), což jsou ventilem řízené olovené akumulátory, které vytvořené plyny odvádí zpět do elektrolytu, takže se neuvolňují do prostoru, kde je umístěn akumulátor, ani se nemůže stát, že by se z akumulátoru dostal ven elektrolyt. Jsou to rekombinační baterie, ve kterých se kyslík vzniklý u kladné elektrody znovu smísí s vodíkem u záporné elektrody a vytvoří se tak znovu voda. Tím se předejde vysychání elektrolytu, což umožňuje bezúdržbový provoz. Ventily jsou u těchto baterií pouze z bezpečnostních důvodů.

4.5. Možnosti připojení měničů k akumulátoru

Měniče napětí do trvalého výkonu 300 W jsou zpravidla dodávány s kabelem ukončeným autokonektorem pro zasunutí do autozásuvky.

- Měniče s výstupním výkonem 300 W, jsou běžně dodávány se dvěma typy kabelů a to:
 1. kabelem ukončeným autokonektorem
 2. kabelem ukončeným krokosvorkamiVyšší odběr proudu z baterie při zatížení měničů s trvalým výkonem nad 300 W pak již neumožňuje připojení měniče napětí přes autokonektor.
- Měniče s výkonem nad 300 W jsou tedy již dodávány pouze s kabely zakončenými krokosvorkami pro připojení k akumulátoru. Měniče napětí s nejvyššími výkony již nemají krokosvorky, ale očka pro připojení k baterii pomocí šroubového spoje.

4.6. Zásady bezpečnosti

Je potřeba si uvědomit, že na výstupu měniče napětí je stejné napětí jako v běžné zásuvce a že měnič je schopný (podle výkonu) dodat výstupní proud v řádu jednotek až desítek ampér. Kontakt s výstupním napětím z měniče napětí tedy může u měničů s malým výkonem znamenat velmi nepříjemný zážitek a u měničů napětí s vysokým výkonem může skončit i tragicky.

4.7. Připojení měničů s motory (čerpadla, ruční el. nářadí, spotřebiče s el. motory)

Speciální kapitolou použití měničů napětí je jejich spolupráce s motory. Běžně používané jednofázové motory se dělí v zásadě na dva typy motorů a to na:

- **Jednofázové asynchronní motory.**

Tyto motory se používají v domácnostech např. v oběhových čerpadlech, v menších okružních pilách a podobných strojích. K jejich zásadním nevýhodám patří velký proudový náraz v okamžiku rozběhu, tedy že jejich odběr při rozběhu je i u moderních typů motorů cca 5x až 8x vyšší, než při běžném chodu. Tento velmi krátký okamžik rozběhu motoru je ale velmi důležitý z hlediska napájení takového motoru z měniče napětí, protože aby se motor rozběhl, musí mu měnič napětí dodat dostatečný proud. Pokud budeme vybírat měnič napětí pro oběhové čerpadlo, které má příkon 100 W, je vhodné použít měnič s maximálním trvalým výkonem min. 600 W.

Pokud použijeme pro napájení čerpadla měnič napětí s modifikovanou sinusovkou, bude motor čerpadla mírně vydávat nepřírozený zvuk, tento jev je vcelku obvyklý a kromě tohoto zvuku s sebou nenese žádné negativní jevy. Může však uživatele rušit.

- **Motory s komutátorem.**

Tento typ motoru se používá u spotřebičů jako je pracovní nářadí (vrtačky, rozbrušovačky, ruční okružní a řetězové pily, ruční brusky atd.), vysavače, fény, mixéry a podobné spotřebiče. Tyto spotřebiče tedy nevyužívají k pohonu jednofázový asynchronní motor, ale motor s komutátorem, který je uzpůsobený buď z hlediska konstrukce, nebo pomocí přídavné elektroniky pro měkký rozběh. To znamená, že se rozbíhají pomalu a tudíž, že také proudový náraz po zapnutí je rozložen do podstatně delšího časového okamžiku a není zdaleka tak velký jako u asynchronních motorů (čerpadla apod.).

Tyto motory tedy nevyžadují zdaleka tak velké naddimenzování výkonu pro jejich rozběh, jako jednofázové asynchronní motory v čerpadlech apod., nicméně je vhodné, aby trvalý výkon měniče napětí používaný s těmito spotřebiči, byl na úrovni asi 250 - 300 % příkonu spotřebiče. Pokud bychom tedy chtěli použít měnič napětí pro ruční vrtačku s příkonem 400 W, je vhodný měnič s trvalým maximálním výkonem alespoň 1000 W. [2]

5. Stabilizace vstupního napětí měniče kmitočtu

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2., výstupní napětí FV panelu kolísá podle intenzity slunečního záření. Z tohoto důvodu je nejprve nutné výstupní napětí panelu, a tedy vstupní napětí měniče, stabilizovat. Možností jak napětí stabilizovat je více. Následující kapitola popisuje používané možnosti stabilizace.

5.1. Stabilizace pomocí zvyšujícího měniče s cívkou

Jedná se o DC/DC měnič, který se řadí do skupiny měničů s cívkami. Jelikož výstupní napětí je vyšší než vstupní, jedná se o konverzi nahoru (tzv. boost). Velice často se tedy v anglické literatuře setkáme s pojmem Boost converter, popřípadě Step up converter. V těchto měničích najdeme vždy cívku, připojenou jedním vývodem na zdroj, paralelní spínač k zemi a sériovou diodu. Měniče dále nachází uplatnění např. jako aktivní síťové filtry (prerégulátory, korekce účinnosti), generace vyššího napětí z galvanických akumulátorů a baterií, generace napětí pro UPS a LCD displeje.

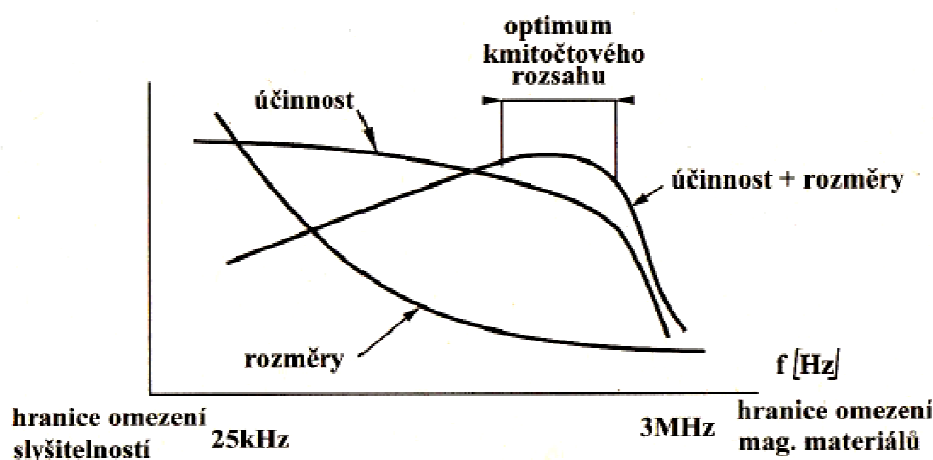
Měniče mohou být buď galvanicky oddělené, nebo bez galvanického oddělení. Galvanické oddělení zaručuje jednak bezpečnostní oddělení vstupu a výstupu měniče, ale také vyřešení problému zemních smyček. Zároveň umožňuje spojit vstup a výstup současně a to dává u jednoho měniče několik voleb hodnot použitelných napětí. Nevýhodou galvanického oddělení je vyšší cena a složitost měniče.

Dalším kritériem měničů je jejich provozní spínací frekvence. V dnešní době je už nejčastěji dána použitým integrovaným obvodem. Měniče pracují na principu přenosu energie ze vstupu na výstup, kdy velikost přenesené energie je úměrná provoznímu kmitočtu. Jelikož tato přenesená energie je ukládána do magnetického pole cívek nebo do kondenzátorů, klesá s rostoucím kmitočtem nárok na velikost těchto obvodových prvků. Z toho pohledu by bylo tedy nejlepší, kdyby byla spínací frekvence co nejvyšší.

Naopak ale vysoká spínací frekvence není vhodná z několika dalších důvodů. Vysoká frekvence znamená větší počet sepnutí a rozepnutí polovodičového spínače (tranzistoru) za jednotku času. Což má za následek větší počet průchodů pracovního bodu těchto spínačů lineární (zesilovací) oblastí výstupních charakteristik. Každý tento průchod znamená jistou velikost ztrátového výkonu součástky, který se mění na teplo a klesá účinnost. Dalším důvodem jsou indukovaná napětí, vznikající při rozpínání indukčních zátěží. Počet těchto přepětíových špiček roste lineárně s rostoucím kmitočtem.

Protože ztráty energie za sekundu budou úměrné provoznímu kmitočtu, celkové ztráty energie se zvýší s provozním kmitočtem a při nějaké hodnotě kmitočtu budou účinnost degradovat

nepřijatelně. Tento jev můžeme kompenzovat použitím rezonančních měničů, které minimalizují ztráty, ale nakonec celkové ztráty určují horní limit provozního kmitočtu.



Obr. 9 Závislost parametrů měniče

Graf ukazuje zobecněné úvahy. Optimální hodnota spínacího kmitočtu je různá pro různá hodnotící hlediska. Nižší provozní kmitočet je vhodnější z hlediska účinnosti a měl by být nad slyšitelným pásmem. Nejnížší hodnota je tedy nejčastěji okolo 25 kHz. Horní limit spínacího kmitočtu je určený účinností a dostupností jednotlivých součástek (magnetické materiály, spínací prvky).

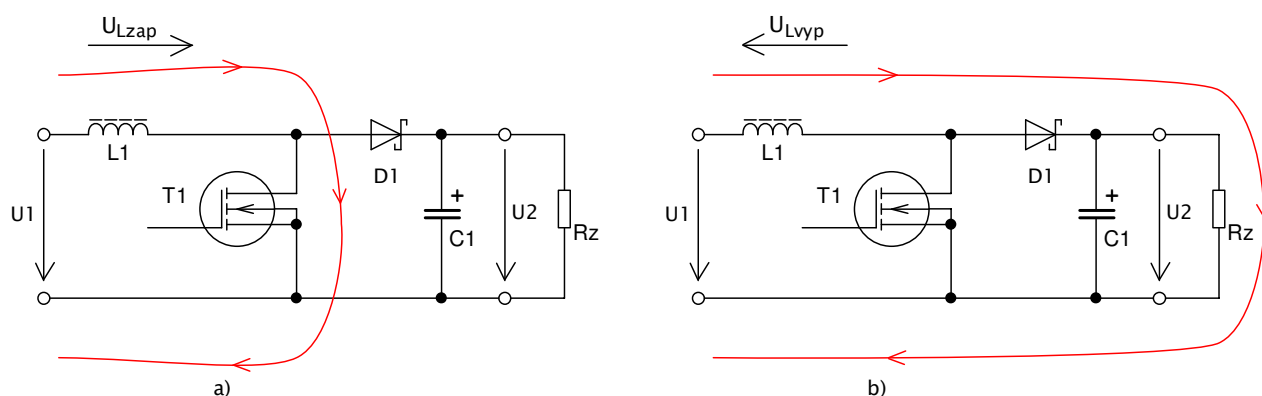
Princip funkce zvyšujícího měniče s cívkou

V této kapitole provedu rozbor základního zapojení galvanicky neodděleného zvyšujícího měniče s cívkou. Lze jej klasifikovat jako nepřímý měnič přenosu energie ze vstupu na výstup, protože energie je akumulována v magnetickém poli cívky. Během sepnutí spínače (MOSFET tranzistoru T1) roste (lineárně při konstantním vstupním napětí U_1) proud I_{Lzap} viz. Obr. 10 a). Dochází k akumulaci energie v mag. poli cívky a cívka se chová jako spotřebič, napětí na cívce je ve stejném smyslu jako protékající proud. Během rozepnutí tranzistoru T1 proud protéká ze zdroje o vstupním napětí U_1 a z cívky L1 do zátěže. Cívka se tak chová jako zdroj spojen do série se zdrojem napájecího napětí U_1 . Proud v této fázi činnosti zdroje protéká do zátěže a výstupního kondenzátoru. Vybíjení kondenzátoru C1 přes sepnutý tranzistor zabraňuje dioda D1.

Takto zapojený měnič vytváří výstupní napětí U_2 vždy vyšší, než je napětí vstupní U_1 . Naopak napětí U_1 je dolní možnou mezí výstupního měniče. Na Obr. 10 a) je dioda polarizována v závěrném směru a na Obr. 10 b) v propustném směru, výstupní napětí U_2 je dáno vztahem:

$$U_2 = U_1 + U_{Lzap} - U_F - U_{CES}, \quad (5.1)$$

kde U_F je propustné napětí diody a U_{CES} je napětí na sepnutém tranzistoru T1 při maximální hodnotě proudu, který jím při sepnutí teče, tj. $U_{CES} = R_{DS(ON)} \cdot I_{max}$.



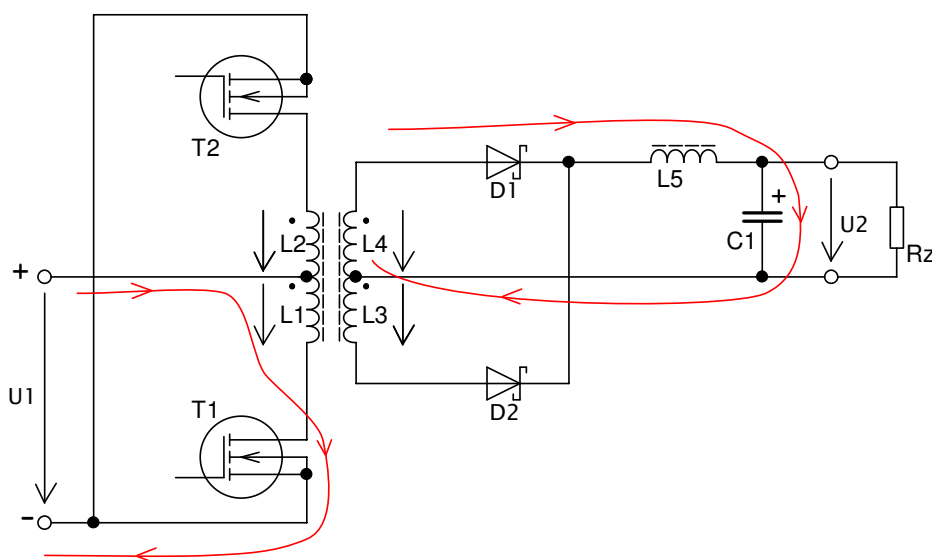
Obr. 10 Zvyšující měnič: a) tranzistor T1 sepnut, b) tranzistor T1 rozepnut

Při sepnutém tranzistoru T1 je proud do zátěže dodáván pouze z kondenzátoru C1 (výstupní napětí U_2 je vždy vyšší než napětí U_{CES} na sepnutém tranzistoru a dioda je tak polarizována v závěrném směru), kondenzátor se tak vybíjí a jeho proud klesá stejně jako napětí na něm (a současně na zátěži R_Z). Při rozepnutí tranzistoru cívka zachová směr toku svého proudu, ale obrací polaritu svého napětí (přechází tak z režimu spotřebiče do režimu zdroje), naindukované napětí cívky U_{Lvyp} se sčítá s napětím napájecího zdroje U_1 a dioda přechází do vodivého stavu. Kondenzátor je dobíjen proudem I_{Cvyp} , roste na něm napětí a roste napětí i na zátěži R_Z .

Mezi výhody tohoto zapojení patří jednoduchost, nízká cena a dosažení zvýšení napětí bez použití transformátoru. Nevýhodou je omezený výkonový rozsah a poměrně vysoké výstupní zvlnění při nízkých hodnotách střídavé spínání tranzistoru. [3]

5.2. Stabilizace pomocí měniče v zapojení push-pull

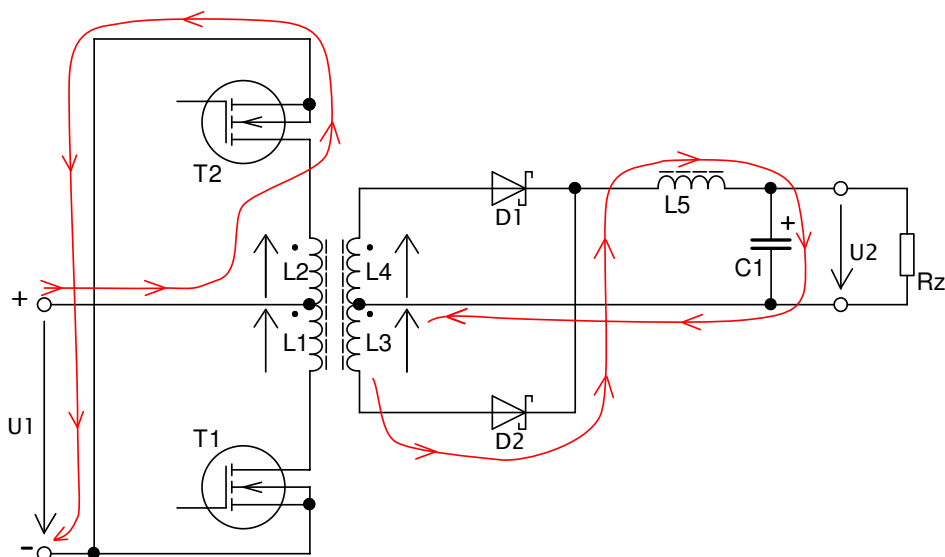
Jedná se o DC/DC měnič, který se řadí do skupiny „Dvojčinných měničů s transformátorem“. Díky použití transformátoru tento měnič zaručuje galvanické oddělení vstupu a výstupu měniče. Základní zapojení je na *Obr. 11*, je to vlastně kombinace dvou zapojení jednočinných měničů, které jsou spojeny jedním magnetickým obvodem společného transformátoru.



Obr. 11 Měnič push-pull: sepnut tranzistor T1

Na obrázku je sepnut tranzistor T_1 a rozepnut tranzistor T_2 . Proud tekoucí vinutím transformátoru L_1 od vývodu označeného tečkou určuje polaritu všech dalších napětí na ostatních vinutích transformátoru. Všechna vinutí jsou polarizována stejně, takže potenciál plus je na vývodu s tečkou, potenciál minus na vývodu bez tečky. Na obrázku jsou tato napětí reprezentována otevřenými šipkami. Zapojení je symetrické a obě primární cívky (L_1 , L_2) mají stejný počet závitů. Uzavřený tranzistor T_2 je zatěžován závěrným napětím, daným součtem naindukovaného napětí na cívce L_2 a napájecím napětím U_1 . Pokud je sepnut T_1 , umožňuje průtok proudu pouze sekundárním vinutím L_4 . Dioda D_2 je v závěrném směru zatěžována součtem obou sekundárních napětí na cívkách L_3 a L_4 (snížený o zanedbatelný úbytek napětí na D_1).

V druhé fázi spínání se stav celého obvodu zrcadlově mění (*Obr. 12*), tranzistor T_1 se rozpíná a následně spíná s nutnou časovou prodlevou tranzistor T_2 tzv. mrtvá doba (dead time). Jelikož jsou všechna vinutí vinuta jedním smyslem, pak při sepnutí tranzistoru T_1 je magnetické jádro transformátoru magnetizováno jedním směrem a při sepnutí tranzistoru T_2 opačným směrem. Jádro je magnetizováno střídavě a můžeme tak využívat celou hysterezní smyčku jeho feromagnetického materiálu (oproti jednočinným zapojením stačí tedy poloviční objem jádra).

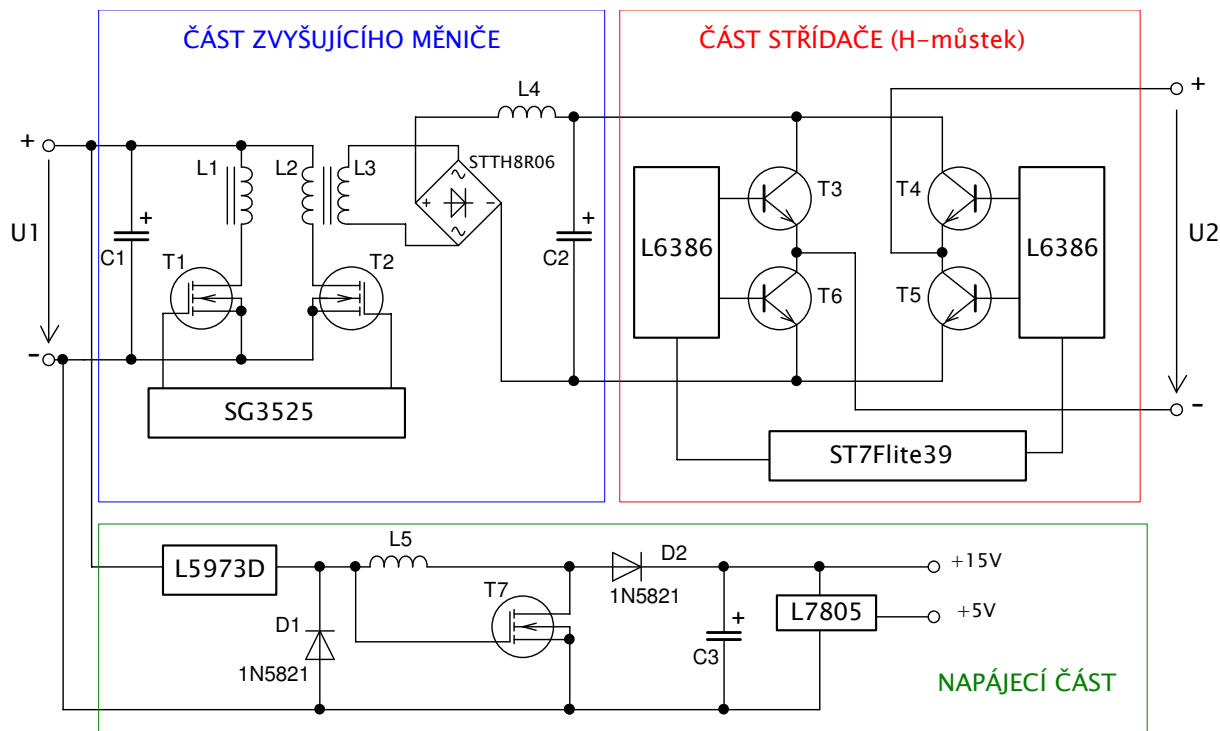


Obr. 12 Měnič push-pull: sepnut tranzistor T2

Výhodou tohoto zapojení je zejména dvojnásobný kmitočet zvlnění na výstupu vzhledem ke spínacímu kmitočtu obvodu. Lze tedy použít 4 krát menší indukčnost cívky L5 výstupního filtru. Což sníží počet závitů, které je možné následně navinout vodičem o větší tloušťce a snížit tak ztráty měniče. Oproti předchozí variantě měnič může pracovat s většími výkony. [3]

Příklad použití v praxi

Na následujícím obrázku je blokově uvedena vnitřní struktura 1 kW dvoustupňového DC/AC měniče s použitím tranzistorů STP160N75F3 (tranzistory T1 a T2). Schéma slouží pouze jako ukázka využití zapojení v praxi.



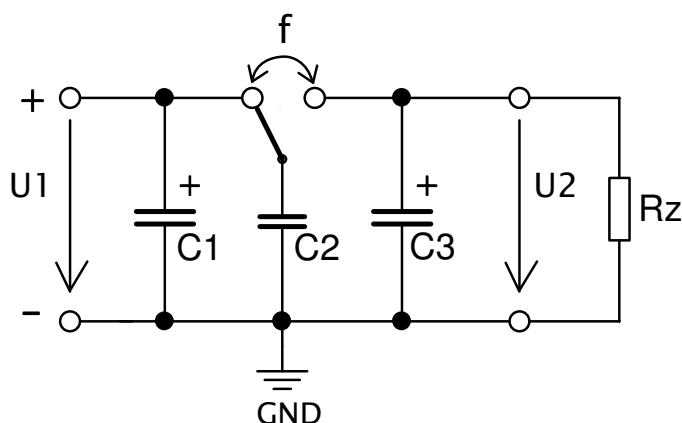
Obr. 13 Blokové schéma měniče s tranzistory STP160N75F3

Za zvyšujícím měničem v push-pull zapojení je zapojen střídač, který zvýšené stejnosměrné napětí přemění na střídavé o hodnotě 230 V s požadovaným kmitočtem 50 Hz. Tranzistor STN4NF03L tvoří jednočinný měnič, který slouží pro vytvoření napětí +15 V a z tohoto napětí je následně obyčejným stabilizátorem L7805 vytvořeno pracovní napětí +5 V.

5.3. Stabilizace pomocí měniče s nábojovou pumpou

Jedná se o DC/DC měnič, který se řadí do skupiny měničů se spínanými kondenzátory (tzv. Nábojové pumpy). Tyto měniče generují požadované výstupní napětí při malých výstupních zatíženích. Výhodou je jednoduchost zapojení a nízká cena, není použit transformátor, ani žádné cívky. Jsou však omezeny svým výkonem.

Princip spočívá v dočasném uložení energie do kondenzátoru, která je následně předána na výstup, pomocí vhodného spínání spínačů.



Obr. 14 Nábojová pumpa

Kondenzátory jsou elektrolytické nebo keramické. Kondenzátory jsou oproti cívkám cenově výhodnější, ale nemohou své napětí měnit skokem. Průběh změny napětí na kondenzátoru má vždy exponenciální charakter, který omezuje rychlost výměny energie. Výhodou je však absence napěťových překmitů.

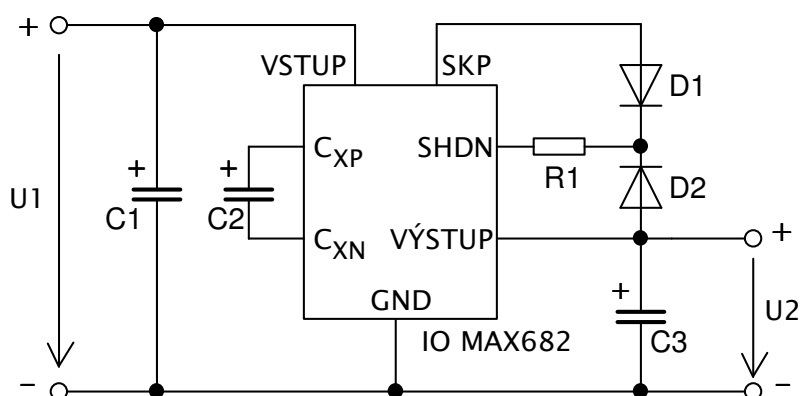
Princip zvýšení stejnosměrného napětí spočívá v pravidelném spínání kondenzátorů, které se na výstupu spojí do série. Napětí na kondenzátorech se sečte a výsledkem je zvýšené výstupní napětí.

Regulované nábojové pumpy

Spínání zajišťují integrované obvody, které neustále vyhodnocují výstupní napětí, a pomocí zpětné vazby nastavují parametry měniče. Např. integrovaný obvod MAX682 je zvyšující měnič s regulací, který může pracovat v režimu vypínání základní pevné spínací frekvence nebo v režimu změny střídý.

Vnitřní komparátor obvodu snímá výstupní napětí. Pokud toto napětí vzroste, spínací kmitočet se vypne, měnič přestává pracovat a výstup obvodu je napájen pouze z vybíjejího se výstupního kondenzátoru. V tomto režimu jsou zcela degradovány spínací ztráty. Výsledkem je i nižší hodnota středního klidového proudu a celkové nižší přepínací ztráty.

Pro minimalizaci výstupního zvlnění je možné použít proměnný kmitočet řídicího oscilátoru, např. mezi 50 kHz a 2 MHz. Touto regulací se zajišťuje, že vstupní kondenzátor je nabíjen častěji za jednotku času při vyšších zatíženích. Za jednotku času se tak dodává více energie do výstupního kondenzátoru. Proti předchozí metodě je nižší výstupní zvlnění a účinnější filtrování výstupního napětí při rostoucí frekvenci.



Obr. 15 Nábojová pumpa s udržováním stálého přepínacího kmitočtu

Vnitřní přepínací kmitočet je řízen proudem do vypínacího vstupu (shutdown). Ovládací rovnice tohoto vstupu je dána vztahem:

$$R_1[k\Omega] = 45000 \cdot (U_1[V] - 0,69V) / f_{osc}[kHz] \quad (5.2)$$

Touto rovnicí vypočteme hodnotu vnějšího odporu ve vstupu shutdown pro dané vstupní napětí a požadovaný přepínací kmitočet. Přepínací kmitočet a proud vstupem závisí také na vstupním napětí U_1 . Diody umožňují průtok stejnosměrného proudu do tohoto vstupu. Dioda D1 zajišťuje spolehlivý začátek řízení proudem ze vstupu do vstupu shutdown, dokud není na výstupu po zapnutí dostatečně velké napětí. Poté, co napětí na výstupu dosáhne hodnoty 5 V, je vypnuto spínání obvodu.

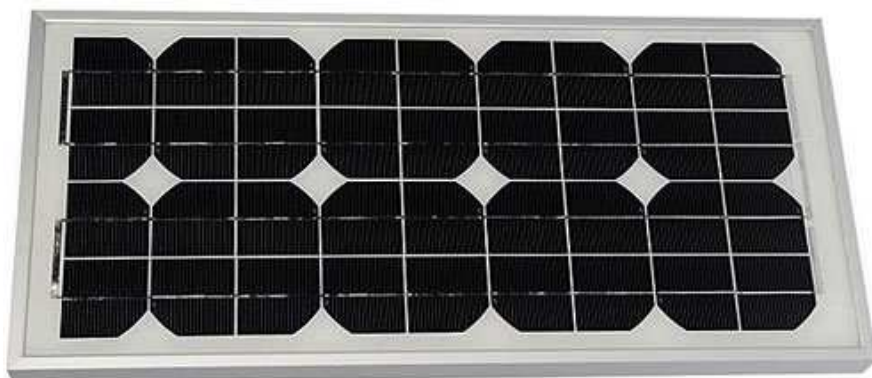
[3]

6. Praktická část - Laboratorní funkční vzorek měniče napětí

Zadáním praktické části bylo sestavit laboratorní vzorek frekvenčního měniče pro FV panel RICH SOLAR RS-M20 20 Wp. Měnič musel stabilizovat výstupní napětí panelu, akumulovat vyrobenou energii a následně přeměnit stejnosměrné napětí na střídavé.

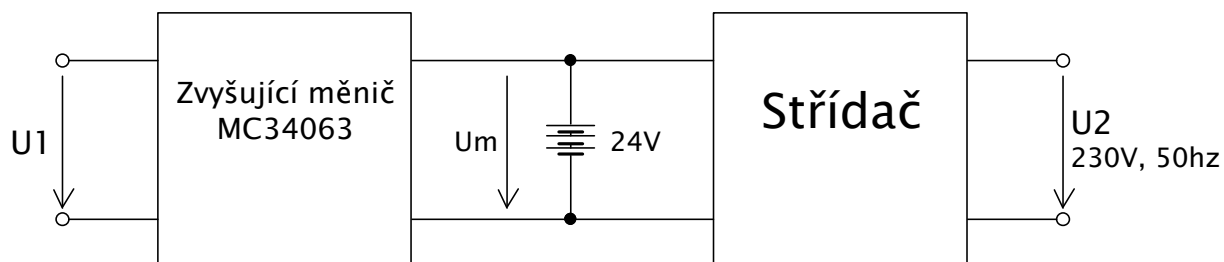
Parametry panelu:

Max. výkon	20 W
Max. výstupní napětí při výkonu 20 W	17,82 V
Max. výstupní napětí naprázdno	21,96 V
Max. proud při výkonu 20 W	1,14 A
Max. zkratový proud	1,27 A
Pracovní teplota	- 45 °C ... + 85 °C
Rozměry	662×299×34 mm
Hmotnost	2,7 kg



Obr. 16 Fotovoltaický panel RICH SOLAR RS-M20 20 Wp

Zvolil jsem variantu složení frekvenčního měniče z DC/DC zvyšujícího měniče, stejnosměrného meziobvodu s akumulátorem a DC/AC měniče. Stejnosměrný DC/DC měnič má za úkol stabilizovat kolísání výstupního napětí FV panelu, řídit nabíjení akumulátoru a vytvořit tak konstantní stejnosměrné napětí pro střídač. Střídač následně přemění toto konstantní stejnosměrné napětí na střídavé napětí o daných parametrech.



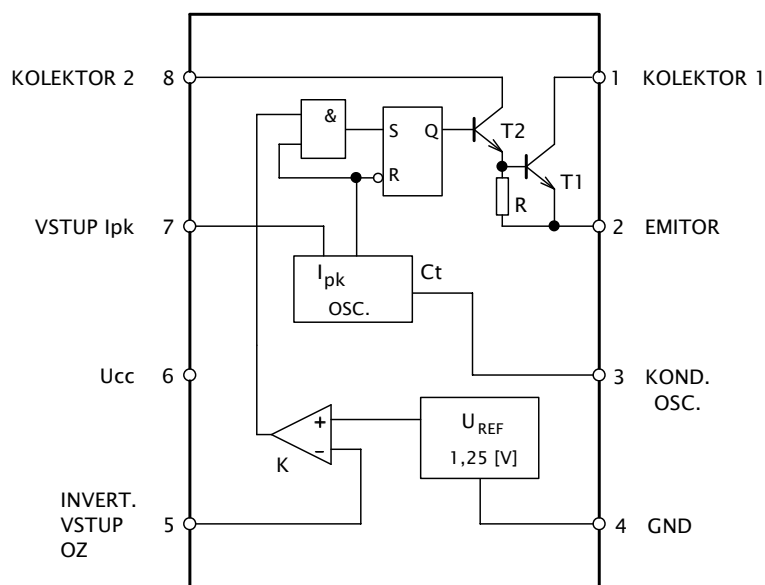
Obr. 17 Blokové schéma frekvenčního měniče

U1 - Výstupní napětí fotovoltaického panelu

Um - Napětí meziobvodu

6.1. Zvyšující měnič

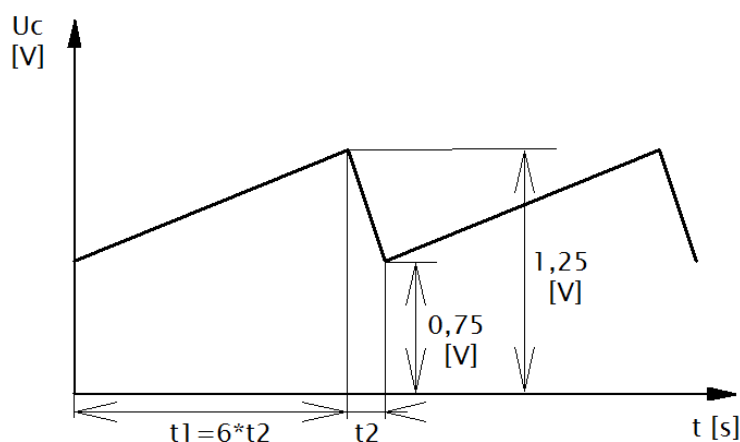
Jedná se o jednočinný zvyšující měnič s cívkou a integrovaným obvodem MC34063, který zajišťuje spínání externího tranzistoru. Obvod MC34063 je monolitický řídicí obvod, který na svém čipu obsahuje všechny základní funkce potřebné pro činnost měniče. Obsahuje teplotně kompenzovaný zdroj referenčního napětí $U_{REF} = 1,25 \text{ V}$, komparátor pro porovnávání výstupního a referenčního napětí, oscilátor OSC s řízením střidy a omezovačem špičkových proudů I_{pk} , budič T2 a spínací tranzistor T1 pro vysoký proud (1,5 A). Výrobce udává, že tento obvod je konstruován speciálně pro zvyšování, snižování a inverzi napětí.



Obr. 18 Vnitřní struktura integrovaného obvodu MC34063[4]

Součástí vnitřní struktury obvodu je oscilátor, jehož kmitočet je dán kapacitou externího kondenzátoru C_T . Jeho nabíjecí a vybíjecí proud je dán vnitřními zdroji proudu a pohybuje se od 35 μA do 200 μA , tj. v poměru 1 : 6. Doba nárůstu napětí na tomto kondenzátoru je tedy 6x delší než

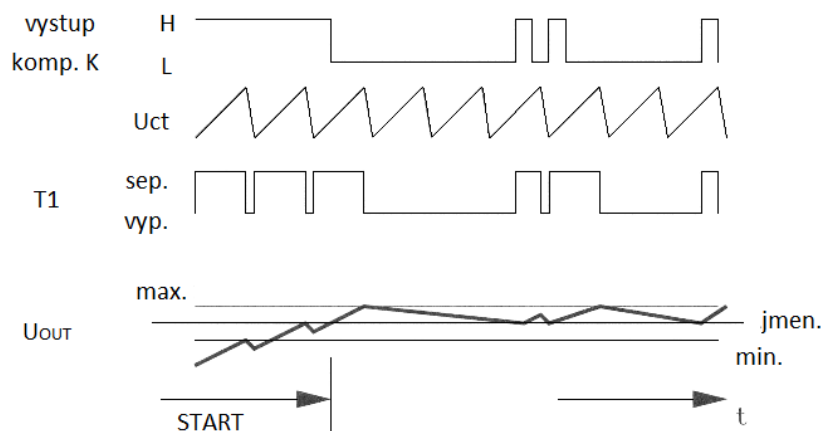
doba poklesu tohoto napětí. Průběh napětí znázorňuje Obr. 19, maximální hodnota je dána referenčním napětím $U_{REF} = U_{C_{MAX}} = 1,25 \text{ V}$ a hodnota minimální je cca $0,75 \text{ V}$.



Obr. 19 Průběh napětí na kondenzátoru C_T

Během nárůstu napětí na kondenzátoru C_T je na výstupu oscilátoru, který je spojen se spodním vstupem hradla AND, logická jednička (H). Pokud přitom je na vstupu komparátoru (vývod č. 5) napětí nižší než napětí referenční ($U_{REF}=1,25 \text{ V}$), je výstup komparátoru překlacen do kladné saturace a i na horním vstupu hradla AND je logická jednička. Tyto vstupní podmínky nastaví logický klopný obvod RS do stavu, kdy na jeho výstupu Q je také úroveň H, a tím je buzen tranzistor T2, který následně budí T1, popřípadě dále externí tranzistor. Jakmile napětí na kondenzátoru C_T dosáhne hodnoty napětí referenčního, obvod oscilátoru vysílá na spodní vstup hradla AND logickou nulu.

Pokud je v tomto okamžiku stále ještě výstupní napětí nižší než jmenovité, pak na výstupu komparátoru je stále logická úroveň H. Na výstupu RS klopného obvodu se změní úroveň H na L a spínací tranzistor T1 se vypne. Tím klesá výstupní napětí, Obr. 20 (jen nepatrně, protože $t_2=t_1/6$).



Obr. 20 Časování obvodu MC34063

V okamžiku, kdy napětí U_{CT} poklesne na hodnotu cca 0,75 V, začne být kondenzátor opět nabíjen a výstupní spínací tranzistor opět sepne - výstupní napětí dále roste. Takto se periodicky opakuje postupně nárůst i pokles výstupního napětí a to tak dlouho, než se ukončí fáze startu obvodu. Konec fáze start je omezen dobou, kdy výstupní napětí U_2 dosáhne jmenovité hodnoty výstupního napětí. Jelikož z principu práce obvodu vyplývá, že jeho výstupní napětí stále kolísá, musíme i po okamžiku $U_{OUT} = U_{OUTjmen}$ dále výstupní napětí zvyšovat tak, aby jeho hodnota ve svém výsledku ležela níže. Tedy i v okamžiku, kdy výstup komparátoru přejde do logické úrovně L (na výstupu je napětí větší než jmenovité), pokračuje ještě jeden běh napětí na kondenzátoru C_T podle Obr. 19 a to tak dlouho, než toto napětí dosáhne svého maxima, tj. hodnoty U_{2max} . Nová perioda průběhu je sice spuštěna, kondenzátor se nabíjí, ale na obou vstupech hradla AND je logická nula, na výstupu také a tranzistor T1 nespíná. Výstupní napětí klesá tak rychle, jak je odebírán proud zátěží. Směrnice sestupné úsečky je tedy závislá na zátěži. Tento stav poklesu výstupního napětí trvá tak dlouho, než výstupní napětí dosáhne hodnoty U_{2jmen} , kdy výstup komparátoru tento stav vyhodnotí překlopením do úrovně H.

Pokud se tak stane během růstu napětí U_{CT} , kdy oscilátor generuje na spodní vstup hradla AND logickou jedničku, ihned spíná tranzistor T1. Generuje se tolik impulzů spínacím tranzistorem, kolik je potřeba, aby výstupní napětí dosáhlo hodnoty U_{2max} . Pokud situace překlopení výstupu komparátoru do úrovně H nastane během doby t_2 , pak tranzistor T1 sepne s počátkem nárůstu napětí na C_T .

Kontrola zkratového proudu I_{pk} omezuje proudy při náběhu zdroje a vytváří tak měkký start zdroje. Při správné činnosti obvodu se kontrola funkce neúčastní (zareaguje pouze při vzniku zkratu nebo přetížení). Proud I_{pk} je indikován průchodem přes odpor zapojený mezi svorku č. 7 a kladné napájecí napětí. Pokud na tomto odporu překročí úbytek napětí hodnotu 330 mV, obvod zkracuje nabíjení kondenzátoru C_T a tím zmenšuje naakumulovanou energii v cívce. [5]

Návrh měniče

$U_{1min} = 6 \text{ V}$ (minimální vstupní napětí měniče)

$U_2 = 28,8 \text{ V}$ (výstupní napětí měniče)

$I_2 = 1,5 \text{ A}$ (výstupní proud měniče)

$U_{SAT} = 0,8 \text{ V}$ (saturační napětí tranzistoru)

$U_{RIPPLE} = 0,2 \text{ V}$ (maximální zvlnění výstupního napětí)

$f = 20 \text{ kHz}$

$U_F = 0,8 \text{ V}$ (úbytek napětí na diodě)

$$\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} = \frac{U_2 + U_F - U_{1min}}{U_{1min} - U_{SAT}} = \frac{28,8 + 0,8 - 6}{6 - 0,8} = 4,23 \quad (6.1)$$

$$(t_{ON} + t_{OFF}) = \frac{1}{f} = \frac{1}{20 \cdot 10^3} = 50 \text{ us} \quad (6.2)$$

$$t_{OFF} = \frac{t_{ON} + t_{OFF}}{\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} + 1} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{4,23 + 1} = 9,56 \text{ us} \quad (6.3)$$

$$t_{ON} = (t_{ON} + t_{OFF}) - t_{OFF} = 50 \cdot 10^{-6} - 9,56 \cdot 10^{-6} = 40,44 \text{ us} \quad (6.4)$$

$$C_T = 4 \cdot 10^{-5} \cdot t_{ON} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot 40,44 \cdot 10^{-6} = 16,18 \cdot 10^{-10} \div 1617 \text{ pF} \rightarrow 1500 \text{ pF} \quad (6.5)$$

$$I_{PK \text{ SWITCH}} = 2 \cdot I_{OUT(max)} \cdot \left(\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} + 1 \right) = 2 \cdot 1,5 \cdot (4,23 + 1) = 15,69 \text{ A} \quad (6.6)$$

$$R_{SC} = \frac{0,3}{15,69} = 0,019 \Omega \quad (6.7)$$

$$L_{min} = \left(\frac{U_{1min} - U_{SAT}}{I_{PK \text{ SWITCH}}} \right) \cdot t_{ON(max)} = \left(\frac{6 - 0,8}{15,69} \right) \cdot 40,44 \cdot 10^{-6} = 13,4 \text{ uH} \rightarrow 164 \text{ uH} / 5 \text{ A} \quad (6.8)$$

$$C_2 = 9 \cdot \frac{I_{OUT} \cdot t_{ON}}{U_{RIPPLE(pp)}} = 9 \cdot \frac{1,5 \cdot 40,44 \cdot 10^{-6}}{0,17} = 3211 \text{ uF} \rightarrow 3300 \text{ uF} / 50 \text{ V} \quad (6.9)$$

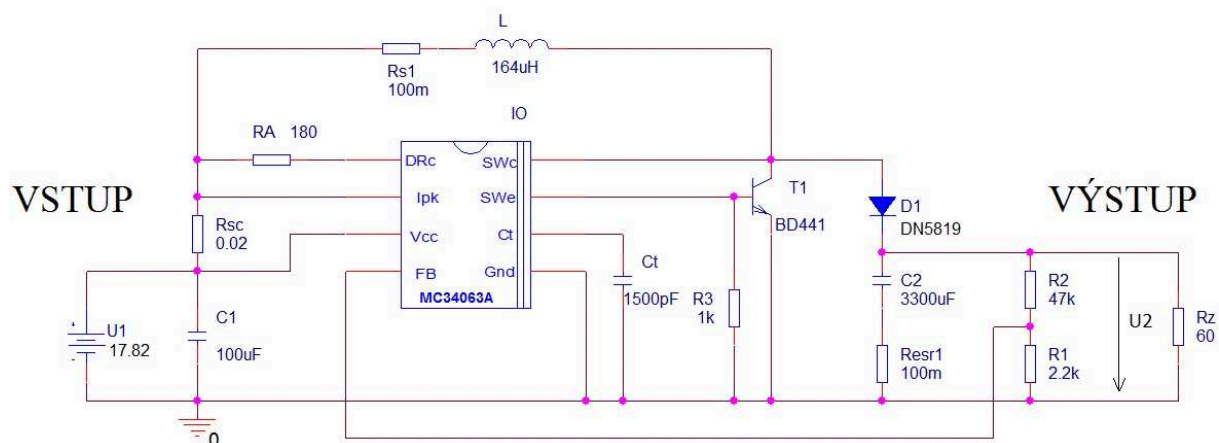
Ve ss meziobvodu bude 24V Pb akumulátor (2 x 12V), proto $U_2 = 28,8 \text{ V}$.

$$R_1 = 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = \left(\frac{R_1 \cdot U_2}{U_{REF}} \right) - R_1 = \left(\frac{2,2 \cdot 10^3 \cdot 28,8}{1,25} \right) - 2,2 \cdot 10^3 = 50,7 \text{ k}\Omega \rightarrow 47 \text{ k}\Omega \quad (6.10)$$

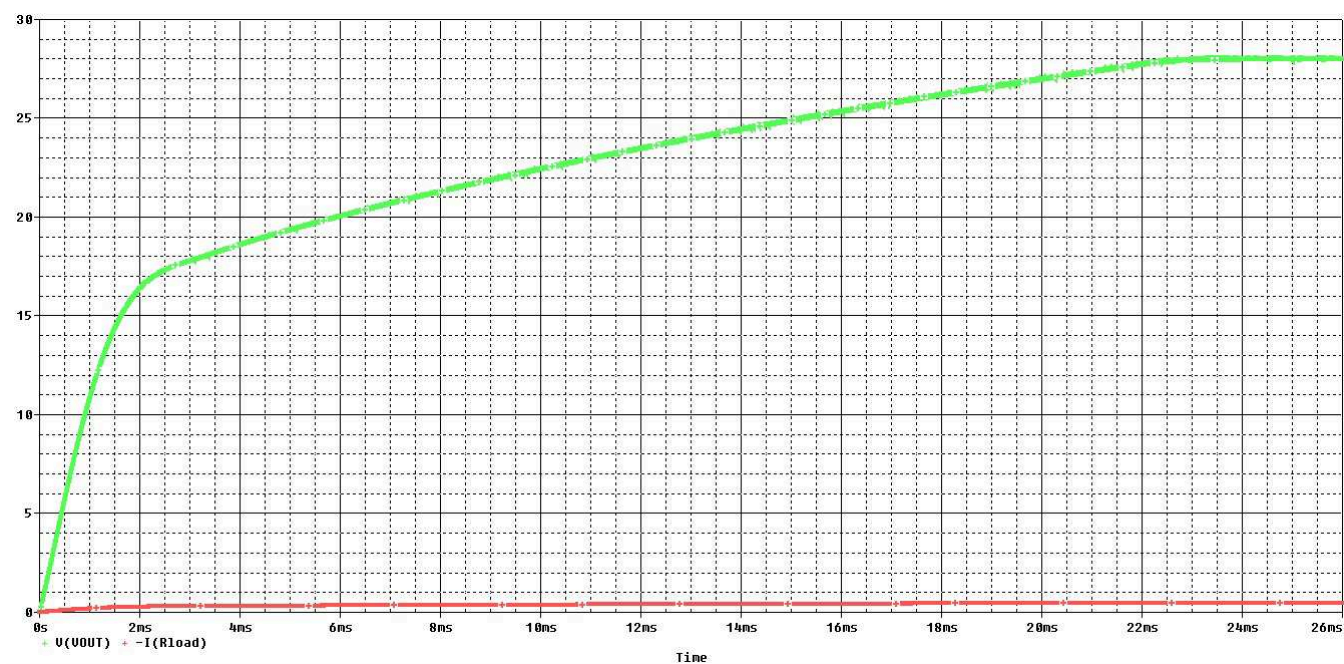
Namísto R_1 jsem použil precizní trimr $5 \text{ k}\Omega$.

Pro ověření výpočtů jsem použil program OrCAD Capture 16.5. Schéma je na *Obr. 21*. Hodnoty součástek jsem zadal dle vypočtených výsledků. Rezistory R_{sr1} a R_{s1} reprezentují ekvivalentní sériový odpor kondenzátoru a cívky, slouží pouze pro simulaci. U kondenzátorů jsem v programu nastavil parametr $I_c = 0$ tak, aby se kondenzátory nabíjely vždy od nuly.



Obr. 21 Návrh obvodu v programu OrCAD Capture

Výsledek simulace:



Obr. 22 Zvyšující měnič - $U_2 = 28,8V$

Z průběhu je patrné, že navrhnutý měnič zvyšuje vstupní napětí na požadovanou hodnotu výstupního napětí $U_2 = 28,8 V$. Při zátěži $R_z = 60 \Omega$ je doba, za kterou dosáhne měnič požadovaného výstupního napětí 22,2 ms. Proud tekoucí zátěží je 0,5 A. Rovněž jsem pomocí simulace ověřil, že měnič zvyšuje na požadovanou hodnotu výstupního napětí také při minimální hodnotě vstupního napětí $U_{IN} = 6 V$.

Výpočet chladiče externího tranzistoru BD441:

$P_{TOT} = 10 \text{ W}$ (Celkový ztrátový výkon tranzistoru)

$T_j = 150 \text{ °C}$ (Teplota čipu tranzistoru)

$R_{th(j-c)} = 3,5 \text{ K/W}$ (Tepelný odpor přechodu čip-pouzdro)

$R_{th(c-h)} = 0,2 \text{ K/W}$ (Tepelný odpor přechodu pouzdro-chladič)

$T_a = 45 \text{ °C}$

$$T_c = T_j - (R_{th(j-c)} \cdot P_{TOT}) \quad (6.11)$$

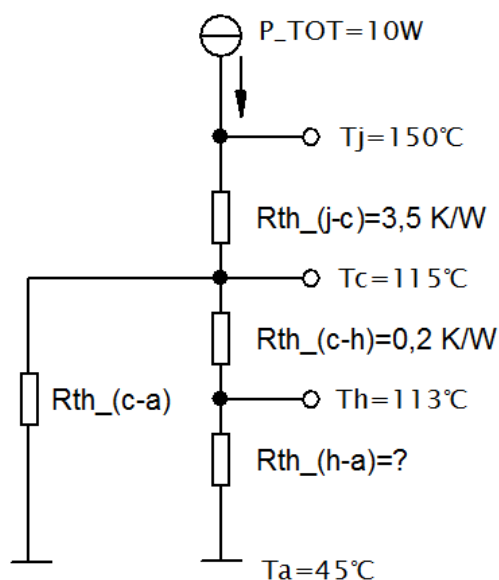
$$T_c = 150 - (3,5 \cdot 10) = 115 \text{ °C} \quad (6.12)$$

$$T_h = T_c - (R_{th(c-h)} \cdot P_{TOT}) \quad (6.13)$$

$$T_h = 115 - (0,2 \cdot 10) = 113 \text{ °C} \quad (6.14)$$

Výsledný tepelný odpor chladiče:

$$R_{th(h-a)} = \frac{T_h - T_a}{P_{TOT}} = \frac{113 - 45}{10} = \underline{6,8 \text{ K/W}} \quad (6.15)$$



Obr. 23 Tepelné schéma tranzistoru BD441

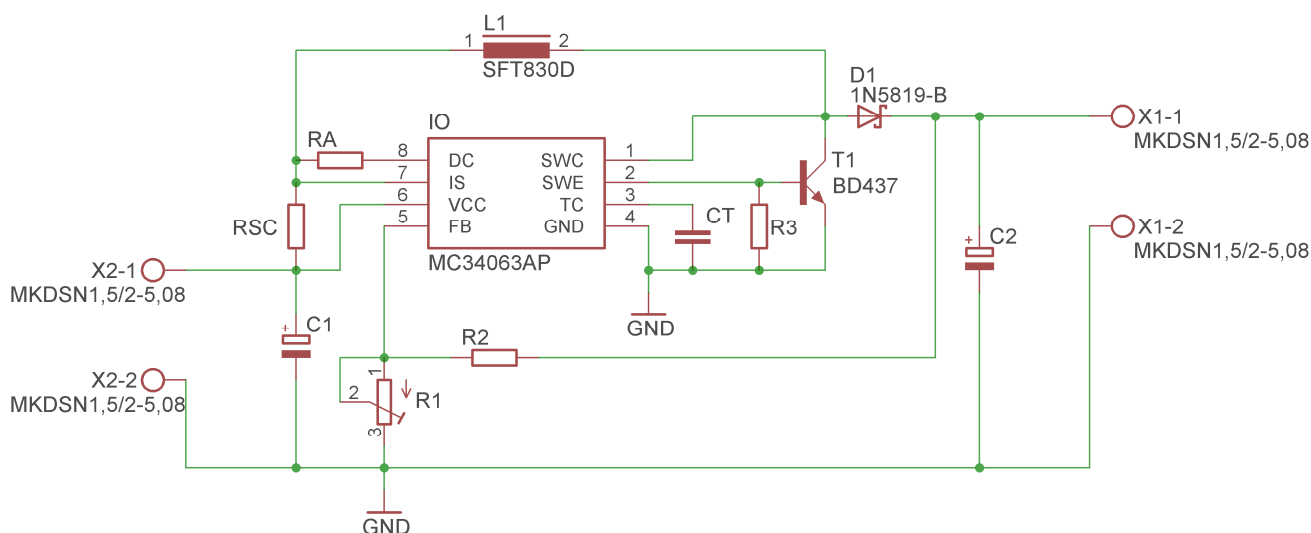
Vybral jsem chladič V71455, který má tepelný odpor 6,2 K/W.



Obr. 24 Chladič V71455

Realizace měniče

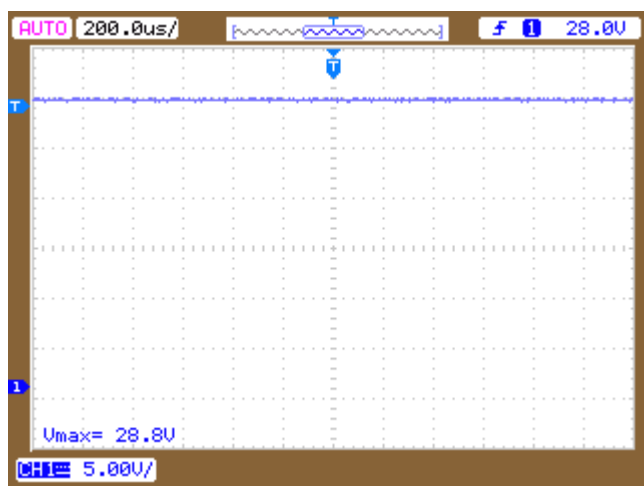
Návrh desky plošného spoje jsem provedl v programu Eagle 5.7.0 Professional. Typové označení cívky a tranzistoru se přesně neshoduje s použitými, použil jsem nejbližší typ z knihovny součástek, který se shodoval roztečí vývodů a rozměrem součástek. Typ integrovaného obvodu jsem dohledal v knihovnách společnosti ON Semiconductor a následně vložil do programu.



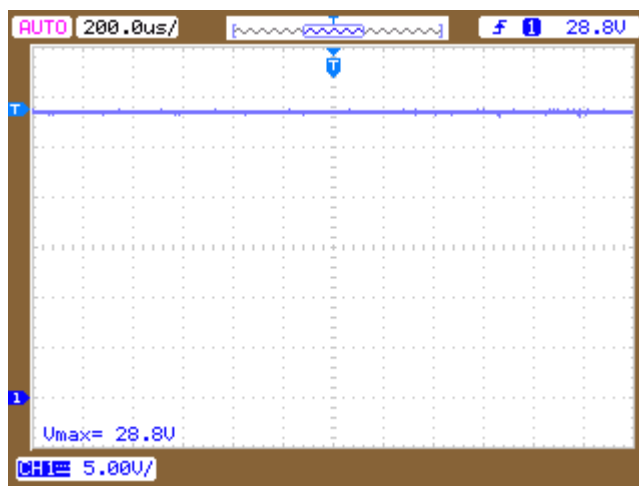
Obr. 25 Schéma zapojení v programu Eagle

Výsledná deska plošného spoje a osazovací schéma jsou obsaženy v souboru „Příloha A“. Na obrázcích níže jsou zobrazeny naměřené průběhy výstupního napětí již hotové desky plošného spoje.

Naměřené průběhy



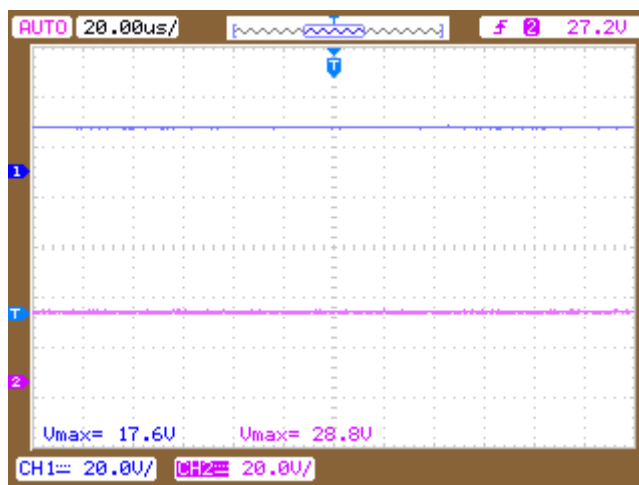
Obr. 26 Výstupní napětí nezatíženého měniče



Obr. 27 Výstupní napětí zatíženého měniče

Na Obr. 26 lze vidět výstupní napětí nezatíženého měniče na požadovanou hodnotu 28,8 V. Na vstupu bylo přivedeno napětí 17,8 V. Při zatížení zůstane výstupní napětí na požadované hodnotě

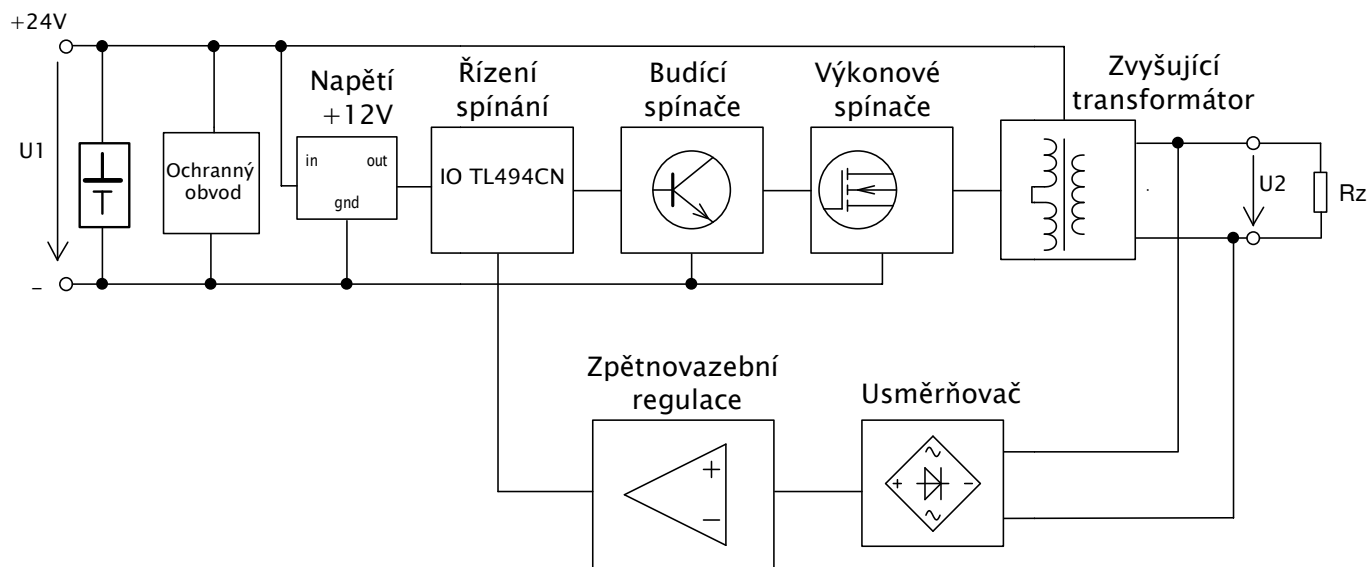
(Obr. 27). Měnič byl zatížen odporovou zátěží $29\ \Omega$ a do zátěže dodával 1 A. Napájecí napětí bylo opět 17,8 V a proud tekoucí do měniče 1,9 A. Účinnost měniče je tedy 85 %.



Obr. 28 Výstupní napětí zatíženého měniče napájeného fotovoltaičným panelem

Obr. 28 znázorňuje výstupní napětí zatíženého zvyšujícího měniče napájeného z fotovoltaičného panelu RS-M20 20 Wp. Modrý průběh je vstupní napětí měniče (výstupní napětí FV panelu) a růžový průběh je výstupní napětí měniče. Měnič dodával do zátěže proud 450 mA.

6.2. Střídač napětí



Obr. 29 Blokové schéma střídače napětí

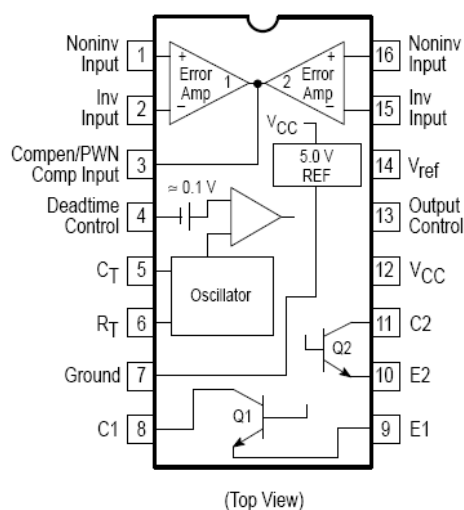
Jedná se o střídač napájený z 24 V akumulátoru. Na vstupu je ochranný obvod, který v případě poklesu napětí na akumulátoru střídač odpojí. Jelikož obvod řízení spínání se zvyšujícím transformátorem pracuje s 12 V napětím, je ve střídači obvod pro vytvoření tohoto pracovního napětí. Blok řízení spínání zajišťuje generování budících pulzů pro budící spínače, tyto následně řídí spínání výkonových spínačů. Výkonové spínače střídavě připojují dvě primární vinutí zvyšujícího

transformátoru s vyvedeným středem. Transformátor zajišťuje zvýšení napětí na požadovanou hodnotu. Střídač je vybaven zpětnovazebním obvodem pro zajištění regulace výstupního napětí. Protože zpětnovazební obvod pracuje se stejnosměrným napětím, je před něho předřazen blok usměrňovače.

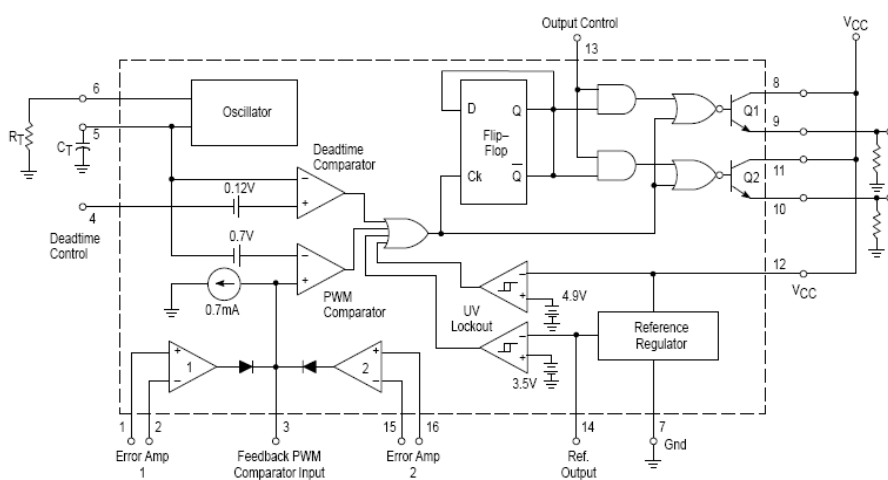
Podrobný popis funkce

Střídač napětí bude napájen z 24 V akumulátoru. Použil jsem zapojení dvou 12 V Pb akumulátorů do série. Tyristor Ty1 (viz. Obr. 33) funguje jako ochrana proti destruktivnímu vybití akumulátoru. V případě poklesu napětí na akumulátoru pod hodnotu 22 V vyhodnotí komparátor obvodu TL494CN rozdíl napětí a sepne tyristor. Proud protéká pouze přes tyristor a odpojí spínání výkonových tranzistorů. Tento stav indikuje červená LED dioda D1. Tyristor zůstane sepnut i v případě, že napětí opět vzroste. Obnovení činnosti střídače je možné pouze odpojením od akumulátoru, čímž se přeruší anodový proud tekoucí tyristorem a tyristor vypne. Nejdříve však doporučuji překontrolovat akumulátor. Hranici, při které má tyristor sepnout, lze nastavit pomocí trimru P1.

K řízení spínání výkonových tranzistorů jsem použil obvod TL494CN, který generuje spínací pulsy pro budící tranzistory T1, T2, tyto pulsy následně spínají výkonové unipolární tranzistory IRFP150. Kmitočet spínání je dán hodnotami součástek R, C připojených k vnitřnímu oscilátoru integrovaného obvodu. Šířku impulsů lze měnit změnou napětí na vývodu č. 4 IO1, což za provozu zajišťuje zpětnovazební regulační obvod. K zajištění tzv. „soft startu“ je na vývod č. 4 připojen kondenzátor C15 o hodnotě 4,7 uF. Pro vytvoření pracovního napětí 12 V a napájení integrovaných obvodů jsem použil stabilizátor napětí L7812CV. Přítomnost napětí 24 V indikuje zelená LED dioda D2.

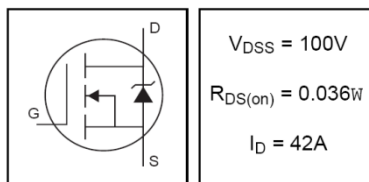


Obr. 31 Integrovaný obvod TL494CN



Obr. 30 Vnitřní struktura obvodu TL494CN

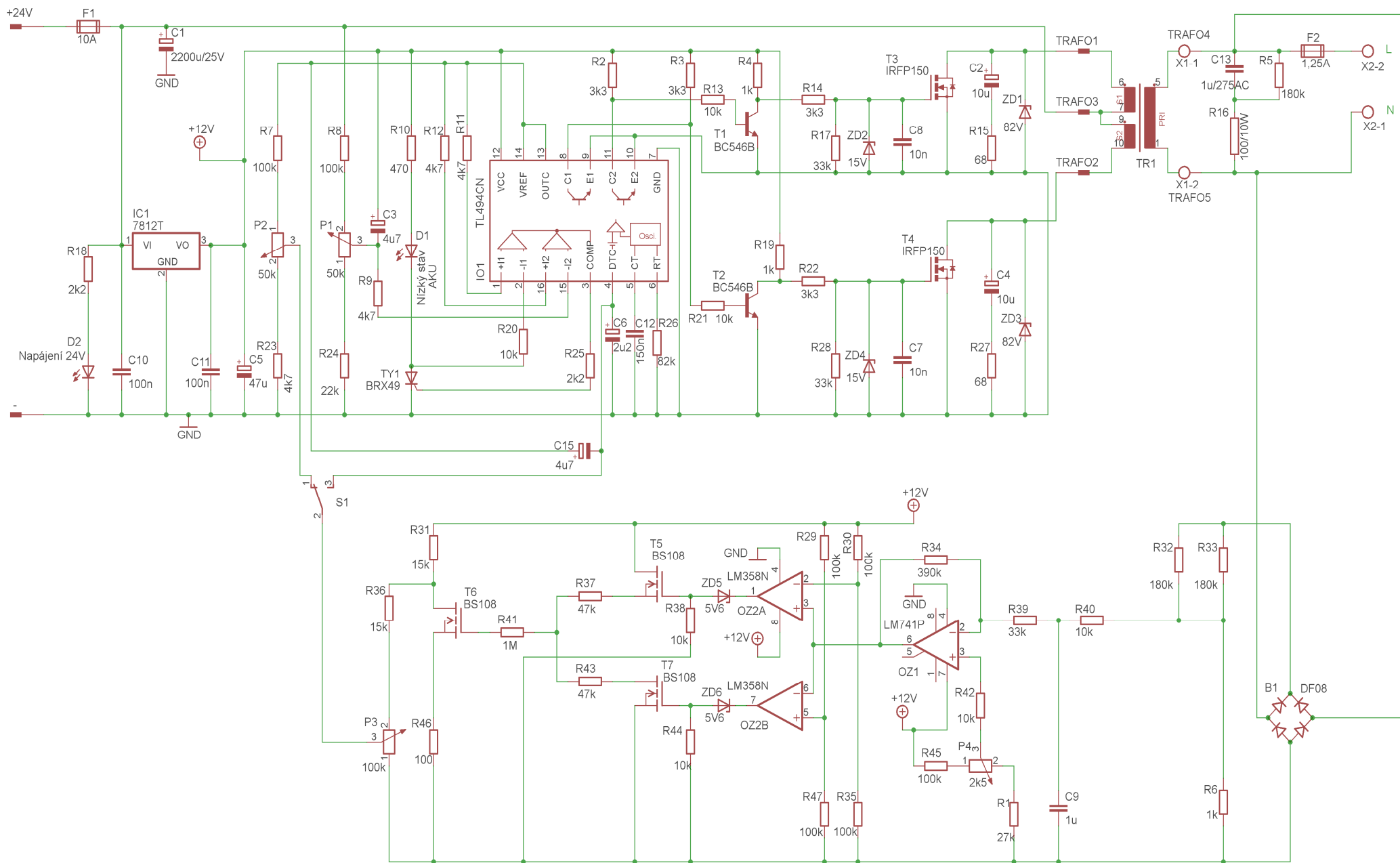
Výkonové unipolární tranzistory jsou typu MOSFET N-kanál a střídavě zajišťují připojení jednoho z primárních vedení transformátoru k potenciálu GND v tzv. „push-pull“ zapojení.



Obr. 32 Unipolární tranzistor IRFP150

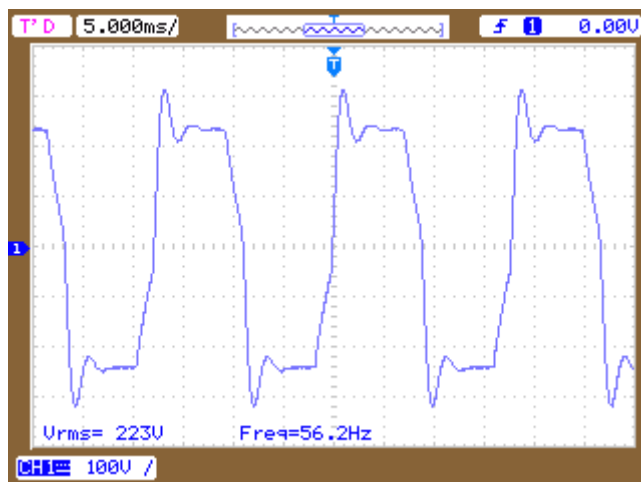
Zenerovy diody ZD1, ZD2 82V slouží jako přepětová ochrana elektrod D a S tranzistorů. Rovněž RC členy v bázích a kolektorech tranzistorů pracují jako ochranný člen. Transformátor 2 x 24 V/230 V se spojeným středem je zapojen jako zvyšující, střed je trvale připojen na potenciál +24 V. Přítomnost napětí 230 V signalizuje doutnavka připojena k zásuvce na výstupu střídače.

Výstupní napětí střídače je regulováno zpětnovazební smyčkou. Napětí 230 V je pomocí diodového můstku v Greatzovu zapojení dvoucestně usměrněno a následně zesíleno zesilovačem OZ1 na 6 V. Tento zesílený signál pokračuje do spojených vstupů dvou proti sobě zapojených komparátorů (OZ2). Na výstupech komparátorů je obdélníkový signál s proměnnou střídou dle zátěže na výstupu střídače. Z rozdílu je řízena vodivost tranzistoru T6, který již spíná ovládací napětí pro obvod TL494CN. Ovládací napětí je filtrováno kondenzátorem C6.



Obr. 33 Schéma zapojení střídače napětí

Na obrázku níže je průběh výstupního napětí při zatížení 25 W žárovkou na výstupu střídače. Střední hodnota výstupního napětí je 223 V a frekvence 56,2 Hz.



Obr. 34 Výstupní napětí zatíženého střídače

Střídač je s použitým plně nabitým akumulátorem schopen provozu po dobu 25 minut, což odpovídá účelu použití jako laboratorní vzorek. V případě provozu po delší dobu je možné použití akumulátoru s vyšší kapacitou. Popřípadě je možné ukládat energii pomocí superkapacitorů.

7. Závěr

V teoretické části této diplomové práce jsou popsány možnosti konfigurace fotovoltaických panelů a měničů kmitočtu, zejména jsem provedl rozbor měničů kmitočtu. Jsou popsány rozdíly mezi měniči pro ostrovní systémy a síťové systémy. Dále práce vysvětluje rozdělení z hlediska konstrukce na transformátorové a beztransformátorové měniče a na závěr této kapitoly rozdělení měničů podle výkonu, jednopanelové, systémové a centrální měniče. Konkrétní měniče od společnosti SMA Solar technology AG demonstrují ukázkou měničů používaných v praxi. Popsán je vždy typový měnič následujících kategorií. Z kategorie Domovní systémy se jedná o měnič SUNNY BOY 3300/3800, který je určen pro malé a střední FV systémy do 20 kW. Z kategorie Systémy pro zapojení do rozvodné sítě to jsou to měniče z řady SUNNY MINI CENTRAL a SUNNY TRIPOWER, jejichž výkon se pohybuje od 15 kW. Poslední kategorií tvoří Komerční systémy od 100 kW až do MW, ve které je popsána řada SUNNY CENTRAL. Popis obsahuje vždy přehled základních vlastností a vysvětlení pojmů, které měniče charakterizují.

Měniče napětí pro domácnost tvoří na trhu samostatné odvětví, a proto jsou popsány zvlášť v kapitole 4. V úvodu kapitoly je nastíněna oblast použití měničů pro domácnost a postup při výběru vhodného měniče. Zřetel je kladen na dostatečné výkonové dimenzování, použité akumulátory, výběr měniče s vhodnými ochranami, použití s el. motory a také výstupní signál v podobě modifikované sinusoidy.

Posledním teoretickým bodem zadání bylo popsat způsoby stabilizace vstupního napětí měniče kmitočtu. Je popsána stabilizace pomocí:

- Zvyšujícího měniče s cívkou
- Měniče v zapojení push-pull
- Měniče s nábojovou pumpou

U všech zmíněných způsobů je vysvětlen princip činnosti a zdůvodněny výhody.

V kapitole pojednávající o praktické části je popsán postup při návrhu nejprve zvyšujícího měniče a následně střídače, ze kterých je složen celkový měnič pro fotovoltaický panel. Popis obsahuje také detailní princip činnosti použitých integrovaných obvodů, použité výpočty a simulace. Rovněž je rozebrán princip činnosti navrhnutého řešení a jsou uvedeny výstupní průběhy hotového výrobku.

Závěrem lze říct, že zvyšující měnič s cívkou je vhodný pro použití ke stabilizaci vstupního napětí. Navrhnuté řešení splňuje požadavky zadání na laboratorní vzorek měniče pro fotovoltaický panel.

8. Seznam příloh

Přílohy v tištěné podobě:

Příloha A Zvyšující měnič - Parametry měniče, deska plošného spoje a osazovací schéma.

Příloha B Střídač - Parametry střídače, deska plošného spoje a osazovací schéma.

Příloha C Fotografie měniče.

Přílohy v elektronické podobě:

Příloha A Zvyšující měnič.pdf - Parametry měniče, deska plošného spoje a osazovací schéma.

Příloha B Střídač.pdf - Parametry střídače, deska plošného spoje a osazovací schéma.pdf

Příloha C Fotografie měniče.pdf

9. Seznam použité literatury

- [1] Libra M., Poulek V.: *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*, 1. vydání, ILSA, Praha 2009, 160 s.
- [2] *Měniče napětí - střídače* [online]. [cit. 2013-04-08]
Dostupné z: <http://www.deramax.cz/menice-napeti/t-115/>
- [3] Krejčířík A.: *DC/DC měniče*, 1. vydání, BEN - technická literatura, Praha 2001, 112 s.
- [4] *Datový list obvodu MC346063A*, ON Semiconductor [online]. [cit. 2013-04-10]
Dostupné z: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC34063A-D.PDF
- [5] Krejčířík A.: *Napájecí zdroje I - základní zapojení analogových a spínaných napájecích zdrojů*, 2. vydání - dotisk, BEN - technická literatura, Praha 1998, 351 s.
- [6] *Datový list obvodu TL494CN*, Motorola [online]. [cit. 2013-04-12]
Dostupné z: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/TL494.pdf>